

1127-1

ARKIV FÖR MINERALOGI OCH GEOLOGI

UTGIVET AV

K. SVENSKA VETENSKAPS-
AKADEMIEN

Band 1 • Häfte 1

STOCKHOLM

ALMQVIST & WIKSELLS BOKTRYCKERI AB

LONDON

H. K. LEWIS & CO., LTD
136, GOWER STREET

1949

PARIS

LIBRAIRIE C. KLINCKSIECK
11 RUE DE LILLE

On the Position of Palaeontology and Historical Geology in Sweden before 1800

By GERHARD REGNÉLL

With 21 figures in the text

1. Introduction.....	1
2. Opinions regarding the nature of fossils.....	2
3. Opinions regarding the length of geological time.....	6
4. Previous work. Scope of the present investigation.....	8
5. From OLAUS MAGNUS to SWEDENBORG and ROBERG	9
6. BROMELL.....	15
7. KILIAN STOBÆUS.....	28
8. LINNÉ.....	31
9. Further contributions to palaeontology during the 18th century: GYLLENHAAL, MODEER, and others	39
10. Treatment of fossils in the so-called »Mineralogiae».....	47
11. The development of regional and stratigraphical geology in Sweden up to 1800: A. J. RETZIUS, TILAS, HISINGER, and others.....	50
12. Biographical index.....	56
Literary sources and bibliography	59

1. Introduction

Every scientist — the pioneer research worker as well as the worker with more modest pretensions — owes an eternal debt of gratitude to a long series of precursors, men who contributed towards assembling the fund of experience on which he, the scientist of today, draws daily and hourly. It should therefore be a matter of importance for him to acquaint himself in some measure with the history of his science, in other words, to investigate the foundations of the edifice which he himself is helping to build. It is possible that he will then find the achievements of his predecessors somewhat simple, even ridiculous, which they perhaps are if measured by the standard of our own time. But simple justice demands that every work be regarded in the light of the conditions under which it came into being. If this is done it is more probable that the scientist will understand how to appraise correctly a laboriously gained view of things which now appears obvious to us, or the interpretation of a natural phenomenon which is now considered to belong to the fund of knowledge of every educated person.

2. Opinions regarding the nature of fossils

To take an example: What a fossil is will probably be fairly clear even to a person who is but little conversant with the natural sciences. But what an age it was before the real nature of the fossils was understood.¹ According to one conception, which — originally advanced by ARISTOTLE — still persisted into the 18th century, what we now mean by a fossil was the result of a freak of nature, »*lusus naturae*», an effect of the stars or the light, or of a formative power in the earth, »*vis plastica*», »*vis formativa*», »*vis seminalis*», a conception which is reflected in the designation »figured stones» or »stone jests». What homage must then be paid to sharp-witted and open-minded observers such as RISTORO D'AREZZO, LIONARDO DA VINCI, and ALESSANDRO DEGLI ALESSANDRI, who, the former towards the end of the 13th century, the two latter about the year 1500, following a line of thought from XENOPHANES, were able to advance the explanation, which was right in principle, of the occurrence of marine animal forms in the mountains of North Italy and Calabria. Further, it must be borne in mind that, even after their organic origin had been acknowledged, fossils were declared by the foremost scientists of the time to be the remains of a vegetable and animal world which had perished miserably in the Deluge. As Swedish representatives of this conception may be mentioned M. VON BROMELL, J. G. WALLERIUS (cf. p. 48), and KILIAN STOBÆUS (note, e. g., a paper by the latter entitled »*Monumenta diluvii universalis ex historia naturali*», 1741, reprinted 1752). In justice, however, it should be emphasized that men like LINNÉ and TORBERN BERGMAN gradually adopted a different and, in certain respects, a more correct point of view (concerning this question see HÖGBOM 1921, p. 10, and concerning the conception of the nature of fossils see p. 7 et seq. in the same work; cf. also HÖGBOM 1936, p. 59 et seq., and pp. 36 and 55 below).

On several occasions DANIEL TILAS had reason to turn his attention to the fossil organisms. In his description of Osmundsberget in Dalecarlia (TILAS 1740 a) he feels dubious about them: »But how can one interpret the occurrence of these figured stones or so-called Petrifications, which are commonly credited with being evidence of the Deluge?» (p. 208; translated from the Swedish). TILAS adopts a curious point of view on the fossil problem in »*Stenrikets Historia*», the speech which he gave on the occasion of his resignation of the presidency of the Swedish Academy of Science on 14th April, 1742: »Now if these mountains are to be referred to primeval times, what are we to do with the Belemnites [by which is meant the orthoceratites] and others of their sort? The poor creatures will then be nothing but *lusus naturae* or Nature's freaks. If I dared for fear of their Patrons I should certainly entertain that belief; and I often amuse myself with the thought that when, at the Creator's command, the water and the earth should produce all kinds of living creeping things, they were not quick enough to creep out of their hiding-places, and therefore had to remain there to puzzle mankind and confuse History» (op. cit., pp. 26—27; translated from the Swedish).² In the same speech TILAS vividly describes the devastating

¹ »In medieval times no distinction was made between minerals, rocks and fossils as these words are now understood — all were brought together into one class and were known as »Fossils» from the Latin word *fossilis*, that is, a thing dug up out of the earth. With the advance of knowledge the distinction between these three classes came to be recognized and the three sciences of mineralogy, petrography and palaeontology arose devoted to the study of these three groups respectively» (ADAMS 1938, p. 137).

² »Hänföres nu desse Berg til uråldriga tiden, hwad skole wi giöra af Belemniterne och de andre des Följeslagare? De stackars Kräken blifwa då ej annat än *lusus naturae* eller Naturens Apespel.

effects of the Deluge: »Gentlemen, we have now examined the mineral kingdom in its beauty and magnificent state, when everything in it was in unbelievable order according to the first arrangement of the Creator; now we must pass on and ascertain with dismayed minds and thoughts what grievous destruction and upheavals our mineral kingdom underwent in the well known great Deluge, which covered the whole world. When the Creator in his wrath had decided on the destruction of the earth, he bade the waters rush together both above from the firmament and from the depths, to inundate the whole world. Now, when the springs of the deep gushed forth, the crust and the rocks must necessarily be rent» (op. cit., p. 17; translated from the Swedish).¹

The first of these two quotations discloses a certain doubt as to the interpretation of fossils. TILAS expressly points out that he is strongly inclined to consider them to be »*usus naturae*». The following expression of opinion points in the same direction: »The limestone again brings forth an infinite number of strange things, sometimes in firm and hard substances, such as are proposed to have been found at a number of old marble-quarries, sometimes a lot of monkey-tricks and jokes to mock at the rest of Nature, with dripstones as in limestone caves and especially in the Baumanshöhle, sometimes in the fossilization of plants [this refers to fossil corals] which our fellow members LINNAEUS and ADLERHEIM² observed last year on Gotland. Quartz and white flint also contribute to the matter with innumerable crystallizations: How many heterogeneous substances do we not find in them. I have seen them grown through, not only by moss but also by hay stalks. We cannot but call such products of the mineral kingdom Petrifications, in distinction from others of its products» (TILAS 1742, p. 24; translated from the Swedish).³

In a speech hold on a similar occasion in the year 1765, TILAS appears to be more inclined to look on fossils as organisms which perished in the Deluge, for he speaks of limestones which »bear more or less petrifications or clear traces of a flood» (TILAS 1765, p. 19; translated from the Swedish).

The origin of fossils is dealt with in a special paper, »De Ortu Petrificatorum», 1754, by PER KALM, Professor of Economy at Åbo, well known as a writer of books of scientific travels and botanical works. The fossil forms are explained as actually being petrified animals and plants, which have been scattered over the surface of

Om jag tordes för åtskillige deras Patroners skuld, så hade jag wissierligen den tron; och mången gång roar jag mig med den Tanekan, som hade wid Skaparens befallning, at Watnet och Jorden skulle göra af sig allehanda lefwande Kräk, desse ej warit snabbe nog at krypa fram ur sine gömor, utan derföre måst blifwa qwar, at bry Folek och förwilla Historien».

¹ »Nu hafwom wi mine Herrar beskådat Stenriket i sin fågring och präktiga Tilstånd, då all ting war uti en obeskrifwelig ordning bibehållit efter den första Skaparens inrättning; Nu måste wi fara vidare, och med bestörte Sinnen och Tanckar röna, hwad för en grufwelig förstöring och omstielplning Wårt Stenrike undergådt, uti den hela Jordklotet öfvergångne allmänt bekante store Floden. Sedan Skaparens wrede beslutit Jordenes förderf, böd han alle Watnen stöta tillsammans, så ofwan ifrån fästet som utur diupet, til at således öfverswämma hela Jordklotet. När nu diupsens Källor upbrusto, måste nödwändigt Stenskorpan och Hällebergen remna».

² One of LINNÉ's companions on his journey to Öland and Gotland.

³ »Kalcken åter frambringar en oändelig hop sällsamma Saker, än i fasta och hårda ämnen, såsom wid en hop gamla Marmorbrott skal wara rönt, än i en hop apespel och gyckleri at härma den öfriga naturen, med Dropsten såsom i Kalckgrottor och serdeles Baumanshöhle, än i förstenede af Vegetabilier, som våre Herrar Ledamöter LINNAEUS och ADLERHEIM i acht tagit förledet Åhr på Gottland. Qvarsten och Hwitflintan gör ock til Saken med otalige Chrystallisationer: Hwad många Heterogenea finna wi icke uti dem. Jag har sedt dem igenomwuxne ej allenast med Måssa utan och med Höstråen. Slike Stenrikets Tilwärcningar, kunna wi ej undgå, at til skillnad ifrån de andre des Alster, för Stenhårdningar kalla och nämna».

the earth by natural catastrophes, such as the Deluge and severe earthquakes, a possibility which had previously been considered by an Englishman, JOHN RAY, in his paper »Lithophylacii Britannici Ichonographia», 1699 (the title cited from ADAMS 1938, p. 258). In support of this assumption, KALM states that in the sea-drift on the Scottish coasts have been found seeds and fruits of plants from the West Indies, which have been carried by winds and currents, and adds: »Si procellae & undae vehementiores fructus hosce a locis adeo dissitis, per tot milliaria, advehere valent, tanto facilius varia genera conchyliorum hodie ignotorum ex oceani abyssos & locis peregrinis, ope diluvii universalis, abripi & longe lateque protrudi potuerunt» (KALM 1754, p. 9). KALM's view was in part put forward again by A. MODEER (1758 b; cf. below p. 44). See also below regarding the opinions held by LINNÉ, GYLLENHAAL, and others (pp. 5, 22, 36, 39, 50).

To the »Werlds-Beskrifning» (Cosmography), published by Cosmographiska Sällskapet (the Cosmographical Association) of Uppsala¹, was worked out a second part, »Physisk Beskrifning öfwer Jord-Klotet» (A Physical Description of the Globe), 1766 (2nd edition 1773—74; translated into a number of foreign languages), by TORBERN BERGMAN, prominent as a research worker in various fields and world-famous as the founder of analytical chemistry. The sixth chapter of this work deals with »Stenvandlingar». »By *Stenvandlingar* (petrifications) I understand not only stones which resemble organic bodies and their parts, but also their impressions, and all kinds of remains of animals and plants which are found in unusual places. I have mentioned such things several times previously, and in general they are accounted of great importance. They are also in reality a kind of medal, the consideration and explanation of which may shed much light on the natural history of the globe» (op. cit., p. 123; translated from the Swedish). »All that has hitherto been mentioned, is, as regards the large number of shells and sea creatures which are found buried in the earth, not to be considered anything but a little lake as compared with the great ocean. They are not only countless in number, but also of so many kinds that there has not yet been time to search for all their living counterparts. However, there is now hardly anyone who entertains any doubts as to their origin from the animal kingdom. In shape, size, ornamentation, etc., such perfect resemblances are often found between those fossilized and those met with in the sea, that the species can be determined without difficulty.» — — »It is true that divers species are found in the layers of the earth whose counterparts in the sea are not yet known; but their number decreases daily as we get deeper and deeper, and obtain more knowledge of the other parts of the world» (op. cit., pp. 128—129; translated from the Swedish).²

¹ Founded in 1758; one of the founders was TORBERN BERGMAN.

² »Med *Stenvandlingar* (petrificater) förstår jag här, icke allenast stenar, som likna Organiska kroppar och deras delar, utan äfven dylika aftryck, och allahanda djurs och växters quarlefvor, som finnas på ovanliga ställen. Jag har förut flera gånger nämt sådana, och de hållas i allmänhet af mycken betydelse. De äro ock wärkeligen ett slags skådo-pänningar, hwilckas betraktande och förklaring kan sifwa mycket ljus uti Jordklotets naturliga historia.» — — »Alt hvad hittills blifvit nämt, är emot den stora mängd snäckor och hafs-kräk, som finnas i jorden begrafne, ej annorlunda att anse, än som en liten insjö emot stora werlds-hafvet. De äro ej allenast af ett obeskrifveligt antal, utan ock af så många arter, att alla deras likar ej ännu hunnit uppsökas lefvande. Imedlertid är nu nästan ingen, som lyser något tviifvelsmål om deras härkomst från djur-riket. Man finner i skapnad, storlek, strimmor, m. m. ofta så fullkomlig likhet imellan stenvandlade och dem, som träffas i hafvet, att arten utan svårighet kan utstakas —.» — — »Det är sant, att åtskillige arter finnas i jordvarfven, hvars likar i hafvet ännu icke äro bekante; men deras antal minskas dageligen, alt som man hinner mer på djupet, och får mera kundskap om de andra verldenes delar.»

In this presentation the historical perspective is but little pronounced, in as much as fossils are apprehended as organisms living in the seas of today, which for some reason have been transformed into »stones», a view which was also shared in part by LINNÉ and others (cf. below pp. 22, 36). The circumstance that »Sea-foetuses are met with in all the places investigated, from the top of mountains several thousand feet high to deep down in the earth» — — »seems to demand that the surface has stood under water for some considerable time, and on it these creatures could multiply, die, and at length form such considerable accumulations» (BERGMAN 1766, pp. 145—146; translated from the Swedish). Further, it is concluded »That violent floods had at some time passed over a large part, if not the whole, of the world. Bones of elephants in places which, as far as is known, have never contained, nor it seems now could have harboured these animals, and impressions of plants from other parts of the world especially give grounds for this thought» (l. c.).¹ To this is added the following remark, which is rational especially in view of the fact that the remains of mammoths were considered to derive from elephants living in warm climates: »It will be true that if the inclination of the ecliptic is changeable, the climates must also gradually change accordingly, but this is not yet quite determined» (l. c.).

BERGMAN was by no means inappreciative of the difficulties which presented themselves in the face of the first attempts to interpret palaeontological material. »The difficulty in explaining all the circumstances met with in petrifications has been so great that many have been able, against the evidence of their own eyes, to persuade themselves that Nature had formed them to produce a similarity between dry land and water, to jest with man's knowledge, and for many equally childish purposes. At the end of the 16th century an ignorant potter in Paris, BERNH. PALISSY² ventured to tell the learned to their faces, that such fossils had been animals which had been deposited by the sea where they are found now. But nevertheless the deep-seated opinion subsequently persisted for about 100 years. In our times there is hardly anyone who doubts that they have been sea creatures» (BERGMAN 1766, p. 128, note k; translated from the Swedish).³

A couple of fantastic theories as to the origin of fossils which are reproduced by BERGMAN are worth quoting here: »TANCRED ROBINSON believes that shells might have been scattered around the dry land by armies and the dwellers in the towns: an Italian makes use of pilgrims from Syria, and with regard to petrified fish, they are believed to have been thrown away by the Romans because they were not sufficiently fresh: they could also have employed monkeys, who, according to LOUBERE's

¹ »Hafs-foster finnas på alla undersökta orter, ifrån det öfversta af flera tusende fots höga berg, till djupt ned i jorden» — — »tyckes fordra, att ytan någon längre tid stådt under vatten, på hvilken dessa kråk, kunnat förökas, dö och omsider utgjöra så ansenliga samlingar.» — — »Att våldsamt öfversvämning någon gång öfvergäddt en stor del, om icke hela världen. Elefant-ben på orter, som så vida bekant är, aldrig hyst, ej heller nu synas kunnat härbergera dessa djur, och aftryck på växter från andra verldsdelar, äro i synnerhet anledningar till denna tanka.»

² The work referred to is BERNARD PALISSY, »Discours admirable de la nature des eaux et fontaines, tant naturelles qu'artificielles, des métaux, des sels & salines, des pierres, des terres, du feu & des émaux». — Paris 1580.

³ »Svårigheten, att förklara alla vid stenvandlingar förekommande omständigheter, har varit så mäktig, att många kunnat, emot sina ögons intygan, inbilla sig, det naturen formerat dessa för att göra likhet imellan det tårta och våta, att gyckla med människors kunskap, och för flera lika barnsliga afsikter. En olärd påttmakare i Paris, BERNH. PALISSY, vågade i slutet af 16:e hundralet säga de lärde mitt i synen, att sådane fossilier varit djur, som blifvit af hafvet lämnade der de nu finnas. Men den inritade meningen bibehöll sig sedan ändock inemot 100 år. I våra tider är föga någon, som tvifflar att de varit hafskråk.»

story, carry shells from the shore at the Cape of G.[ood] H.[ope]. It is obvious that, even if all these means were relied upon at the same time, nevertheless their number cannot be ascertained therefrom; their position in layers, stones and deep down in the earth, etc.» (op. cit., pp. 145—146, note z; translated from the Swedish).¹

In this connexion it may be mentioned that even VOLTAIRE, one of the most enlightened of thinkers, allowed himself to be duped by similar conceptions, so that he formulated such an assertion as that marine shells (i. e. shell animals in general) which were found up in the mountains had probably been dropped there by Crusaders who had brought them from the Orient (NORDENSKIÖLD 1921, p. 147, note 1).

To depart from our actual subject, we may mention the peculiar interpretation of fossils embedded in rocks which GÖRAN WAHLENBERG, otherwise well known for his knowledge of the Cambro-Silurian fauna in Sweden, advances in his work »Om svenska jordens bildning», 1818. After having stated (p. 60) that »it is found that every one of our large bodies of water has within its old shores an area of petrifications, which, both in size and elevation, corresponds fairly well to the present reciprocal breadth and elevation», and (p. 62) asserts that »the petrification areas» extend mainly in a NNE-SSW direction, he summarizes (pp. 62—63) his opinion thus: »It appears to me that the largest bodies of water had been as it were points of exit for magnetic forces, combined with a capacity for petrification-formation [several times earlier W. spoke of »the capacity of various areas for petrification-formation» in what preceded], and that this outflow was concentrated particularly in certain surfaces on the basic rock situated under the masses of water, where the formation of the petrified rock became as it were a continuation of that of the primeval rock» (translated from the Swedish).

3. Opinions regarding the length of geological time

With regard to fossils, it is obvious that to no small extent dogmatic theology put a check on rational thinking. This may be said to have been the case in other respects also. The fact that the origin of the organic world had to be fitted into the biblical scheme of the Creation, and the calculation of the number of mankind's generations backwards in time dependent on it [which fixes the age of the earth — calculated from 1948 backwards — at 5 708 years according to the Old Testament, and 7 456 according to the Byzantine chronology (cf. BACKLUND 1946, p. 81)], had rendered extremely difficult even an approximately correct estimate of the length of geological time and therewith an understanding of all the phenomena connected with the history of the earth. In his »Prodromus» (1669),² the great NICOLAUS STENO says that the fossil organisms in the rocks of Tuscany were carried there by the Deluge »four thousand years, more or less, before our time» (cf. ADAMS 1938, p. 359). In his »Egenhändiga anteckningar» (Autobiographical notes) LINNÉ, who combined unusually keen natural-scientific insight with genuine piety, says that he »would

¹ »TANCRED ROBINSON tror att snäckor kunnat spridas omkring det tårra genom krigshärar och invånare i städerna: en Italienare betjenar sig hårtill af pelegrimer från Syrien, och hvad förstenade fiskar angår tros de blifvit af Romarena utkastade, då de icke nog färske framkommit: man kunde ock sysselsätta apor, som efter LOUBERES berättelse, vid G.[oda] H.[oppss-] udden bära snäckor från stranden. Det är påtagligt, om än alla dessa medel tillika användas, så kan derutaf ändock icke utredas deras mängd; deras läge i varf, stenar, och djupt ned i jorden, m. m.»

² NICOLAI STENONIS de Solido intra Solidum naturaliter contento dissertationis prodromus. — Firenze 1669. (Facsimile edit. published by E. W. JUNK, Berlin 1904.)

gladly have believed the earth to be older than the Chinese themselves assert, if the Scriptures permitted» (AFZELIUS 1823, p. 213; translated from the Swedish). Even towards the end of the 18th century a glimpse is caught of the time-honoured way of thinking, as is illustrated by a quotation from GADD, a Finlander (1787 b, p. 101): »— and when one bears in mind that during the many thousands of years that the earth has stood, it has been continually filled with the mouldering remains of all these creatures» (translated from the Swedish). Something similar shows itself in the pessimistic conception of the future existence of our world which emerges in the following opinion expressed by BIÖRNER (1748, p. 210), the State translator: »But in spite of this [that the hollows in the cliff between Borgholm and Köping on Öland are considered to have been caused by the waves of the sea] it appears difficult to concur with the learned Court Chancellor DALIN in his theory as to the receding of the water, for in that manner the Baltic would finally dry up entirely if the world could last some thousands of years, which is not probable» (translated from the Swedish).¹

For the rest it may be observed that, even a century later, experienced geologists had very vague and — as we now know — extremely incorrect ideas about the length of the period during which the geological course proceeded. An example of this is found in HISINGER, 1837. After having related »Slotts-Conducteurs J. M. GRÅBERGS Berättelse om en lefwande Groda, funnen på Gothland vid Burswik uti fasta och täta stenen, inemot 8 Alnar neder i Stenbrottet» (Story of a living frog found on Gotland at Burswik in the solid rock, about 8 ells down in the quarry, by J. M. GRÅBERG, Castle Superintendent) (GRÅBERG 1741), HISINGER points out that this »phenomenon of the continuation of life for perhaps thousands of years» (translated from the Swedish), i. e., in the case in question, from the time of the formation of the Silurian Burgsvik sandstone, is by no means inexplicable (HISINGER 1837, p. 112). While the original spokesman had not found it improbable that »the creature», which was assumed to have been enclosed in the sandstone when the rock was deposited, »lived in its prison many unbelievable hundreds of years» (GRÅBERG 1741, p. 250; translated from the Swedish), HISINGER thus thinks of thousands of years. It need not be said how enormously underestimated this figure appears to a modern reader. However, this feeling recedes somewhat into the background in the face of the absurdity of the statement itself. CARL SAHLIN (1939, p. 131 et seq.) recalls the case in a paper on »Berggrodor» (Rock Frogs).

In contrast to STENO, who had been faced by this dilemma as early as the middle of the 17th century, but who, »devout Catholic that he was, abandoned geology rather than the doctrine of the church» (NORDENSKIÖLD 1921, p. 146; translated from the Swedish), about a hundred years later BUFFON advanced the conception that geological and biological development were incompatible with the biblical story of the Creation. The period he allots to the development of our world, 75 000 years, appears unreasonably short to us. And nevertheless BUFFON's repudiation of the sterile authorized conception was, in principle, a step of the greatest importance.

¹ »Men detta oagadt tyckes man swårligen kunna hålla med den wittre Hof-Cancelleren DALIN i hans sats om wattuminskningen, ty på det sättet skulle Östersjön sluteligen alldeles uttorka om werlden fick stå några 1000:de år till, hwilket ej är troligt».

4. Previous work. Scope of the present investigation

Thus not until the pressure of theology began to lighten did possibilities of genuine geological and palaeontological research present themselves, in place of the earlier, mostly theoretical speculations. As, in contrast to a number of other branches of natural science, geology is almost entirely without ancient traditions, the time during which geology has been studied as a science in the present-day sense, is comparatively very short, and in consequence fairly easy to survey, so much the more as the number of workers in geology and allied fields has never been overwhelmingly large. An extremely interesting and well-informed description of the history of geological science from earliest times is found in a comprehensive work by ADAMS (1938), where the material is presented in a perhaps more readily accessible manner than in ZITTEL's detailed »Geschichte der Geologie und Paläontologie» (1899).

In general the usual textbooks in geology devote some space to the historical background of the subject. A fairly complete survey of »Den geologiska forskningen i Sverige» (The study of geology in Sweden) is given by NATHORST in »Jordens historia» (1894; reprinted in »Sveriges geologi», 1894), where, however, as is natural in this connexion, attention is paid in the first place to general geology. In special studies on SWEDENBORG (1906 and 1908) and LINNÉ (1907) NATHORST gave these universal geniuses in natural science the place they deserve in the pantheon of geology also. Later authors who regarded their science from the historical point of view are A. G. HÖGBOM and N. ZENZÉN. Palaeontology and historical geology are, however, mainly outside their purview (note, however, in particular HÖGBOM 1921 and 1936; certain works by ZENZÉN will be referred to below; in the museum-historical studies by the latter author, 1920 and 1930 a, referring to mineralogical conditions, several glimpses are caught of persons who will be mentioned here).

The instruction in geology at Uppsala University in by-gone times is dealt with by v. HOFSTEN (1945, pp. 33—52) and that at Lund University by HADDING (1942).

Considerable contributions towards an understanding of the milieu from which the modern natural sciences developed are given by B. HILDEBRAND (1939) in his comprehensive description of the pre-history, foundation and earliest organization of the Swedish Academy of Science. In his far-reaching work of 1937 on C. J. THOMSEN the same author devotes a chapter to »Museiväsendet och den naturvetenskapliga empirismen» (Museums and natural scientific empirism), which is also worthy of consideration in this connexion.

The notes presented here are by no means intended to give a complete survey of the earlier development and position in Sweden¹ of historical geology and palaeontology, but should afford an idea of its main features. It has only been possible to take account of printed sources. That only the period before 1800 is dealt with here is due less to the period in question having marked any absolutely definite borderline within development in Sweden, but more to the fact that most of the geological and palaeontological literature of the 19th century, being nearer to our own time, may be supposed to be familiar to the somewhat initiated reader. From a wider point of view, however, it may be justifiable to look on the turn of the century referred to as a turning point, in that the pioneer works in stratigraphy and palaeontology by WILLIAM SMITH, LAMARCK, CUVIER, and A. BRONGNIART belong to just that period.

¹ Also includes Finland, which at the period in question was a part of the kingdom of Sweden. A concise survey of the development of geology in Finland was given by BORGSTRÖM (1941).

The discussion as to the origin and physical conditions of the earth carried on by URBAN HJÄRNE, CHRISTOPHER POLHEM, TORBERN BERGMAN, DANIEL TILAS, JOHAN GOTTSCHALK WALLERIUS, and others, will not be dealt with here, nor the lengthy discussions on the so-called receding of the waters (»vattuminskningen»), in which chiefly HJÄRNE, EMANUEL SWEDENBORG, ANDERS CELSIUS, CARL V. LINNÉ, OLOF V. DALIN, JOHAN BROWALLIUS, and BENGT FERRNER took part. Relevant questions have been dealt with in works by HÖGBOM (1920 and 1932).

In a country like Sweden, with its ancient mining activities, naturally the science of mining and mineralogy have old traditions. These subjects also are outside the scope of this paper.

The material for a survey of the earlier history of palaeontology, stratigraphy, and regional geology in Sweden cannot be said to be considerable, and it is largely in the form of brief notes interspersed in larger works. There are not many theses and papers which deal specially with any of the fields mentioned.

5. From Olaus Magnus to Swedenborg and Roberg

OLAUS MAGNUS's »*Historia de gentibus septentrionalibus*» (1555) is also — according to the title — a »*historia de rebus mineralibus*», but it would probably be difficult to trace in it any information of importance for our subject. It may be mentioned, however, that in his presentation of the vegetable world (pp. 411–415) OLAUS MAGNUS gives an explanation — on the whole correct — of the nature of amber, even though he is naturally unconscious of the difference in age between amber and the younger resin. Nevertheless when he enumerates, *inter alia*, rats among the inclusions, he has departed somewhat from what can be considered plausible (cf. FRIES 1894).

Amber also attracted the attention of SIGFRID ARON FORSIUS, known as an astronomer and theologian, who, in his posthumously published »*Minerographia*», says that it »is a stone which according to general opinion grows from spruce or pine resin, which runs down into the water from the trees standing on the shores. Therefore some look upon it as a gum or resin, because it also burns, and has the smell of a resin. Some consider it a kind of ambergris, which grows from the grease in the water, or the soaked bitumen, and therefore they call it *Ambram Citrinam*. It is found mostly on the shores of Prussia and is thrown up there by the waves, where there is no bitumen. Amber is of many kinds, yellow, white, and brownish, or in other colours according to the other materials in it. Ants, flies or gnats are often found in the amber, which is a sign that it grows from fluid resin» (FORSIUS 1643, p. 165; translated from the Swedish).¹ As can be seen this is by no means a bad description. Incidentally it may be mentioned that even PLINY had a fairly correct understanding of the nature of amber (ADAMS 1938, p. 44). For the rest FORSIUS's work contains nothing of palaeontological interest. A considerable part of it is taken up with an

¹ »är en steen, som wäxer, effter en gemeen Meening, aff Graan eller Foro kådho, som aff the Träa som stå medh Stranden, nedhflyter i watnet. Ty räkna honom en part ibland Gummi eller Kådhor, at han ock brinner, och hafwer en Kådhos lucht. Somlige hålla honom för itt slags Ambra, som aff watnens feetheet, eller the blöta Jordbeket wäxa skal, och kalla förthenskul Ambram Citrinam. Han warder mäst funnin wedh then Pryska stranden, och aff Wägen ther vpkastat, ther icke någhot Jordbeck fins. Raaffstenen är mångahanda slags, gol, hwijt, och brwnachtig, eller med andre färghor, effter som han andre Materier i sigh hafwer. Man finner ofta Myror, Flugur eller Myggar i Raafstenen, hwilket är tekn, at han wäxer aff flytande Kådo».

account of the medicinal and magic properties of the »stones», dealt with in the style of the medieval »Lapidaries».¹

One of the earliest associations of the name of Sweden with a palaeontological find will be in the fifth volume of MERIAN's »Theatrum Europaeum» (1647), in which P. LOTHICHUS describes the mortal remains of a human being of gigantic stature which had been found two years earlier by Swedes while making trenches during the siege of the town of Krems in Austria. That the large bones and cranium were not in reality part of the skeleton of a human being but of the then unknown gigantic animal, the mammoth, is obvious enough to any present-day observer of the fine drawing of a large molar which accompanies the description. No one need be surprised that it was reserved to a much later period to give the correct explanation. The fact remains that the first excavation in these loess deposits, which are so rich in fossils, was carried out under Swedish directions, even though for motives other than purely scientific (cf. ABEL 1922, p. 1 et seq., and 1939, pp. 54—55).

With the formation of scientific societies and the establishment of museums for objects of nature, the soil was prepared in Sweden at the beginning of the 18th century for the growth of natural scientific research. However, curiosities still occupied a prominent place among the objects which were collected for cabinets of objects of nature and curios, and which were described in the literature. This applied also to the palaeontological material, the remains of whales and mammoths being regarded with special interest, and having since olden times given rise to the legends about giants. Thus already during antiquity, finds of fossilized bones led to the conception of an extinct race of giants (cf. ADAMS 1938, p. 48).²

In Bokwettsgillet (the Guild of Book-learning) in Uppsala on 14th December 1772 there was shown »a good drawing of an animal, which Baron KAGG, who has now returned from his imprisonment in Russia, has sent over here from Siberia; the same animal is called by the Siberians in their language Mehemot or Mammont; which perhaps has given many the idea that it was the same as Behemoth in Job» (SCHÜCK 1918, p. 79; translated from the Swedish).³ On account of this an »Epistola ad D. ERICUM BENZELIUM de Mamontowa Kost, id est de ossibus bestiae Russis Mammont dictae», by BASILI TATISCHOW, a member of the Russian Council of Mines, was published in Acta Literaria in 1725. Further, LARS ROBERG expressed his opinion in a paper (1729) on the nature of the mammoth remains and stated that they originated from elephants living in the East Indies. The tusks had got into the

¹ FORSIUS's practical attitude finds expression also in the closing remarks on the opening of mines, where he says: »Thenne Lust och begärligheet til at byggia Bärgrwärc, skal man så ligit försumma och tilbaka sättia, at lika som the vnga Drängers lust är til Älskogh. Och så begärligh som Bij til Rosor, at vtsugha Honing och Wax vthur: Altså willig och benägen skal Menniskian ware, doch vthan girigheet, til at sökia Malm och Bärgrwärc vthur Jorden» (This desire and eagerness to build mines one is not allowed to neglect and ignore. In the same way as the young men's desire is for love and as the desire of bees is for roses, to suck honey and wax from them: equally one shall be willing and inclined, but without covetousness, to seek ore and mines out of the earth) (FORSIUS 1643, p. 188).

² In a newspaper article (Svenska Dagbladet, 19th March, 1948) KAARLO HILDÉN called attention to the possibility that there be a connexion between the ancient giants of popular belief and the early Quaternary giant anthropoids made known by recent discoveries in East Asia.

³ »en god Rijtning utaf ett Diur, hwilcken, den nu ifrån sitt Fångenskap i Ryssland utur Siberien hemkombna Baron KAGG hit öfverskickat; blifwandes samma Diur utaf Siberiackerne på deras Spräck kallad Mehemot eller Mammont; hwilcket till Äfwentyrs gifwit mångom den Tanckan, att det wore detsamma som Behemoth hos Jobum».

ground in Siberia after roving »Scythians» had buried their stolen booty there (cf. FRIES 1912, p. 435; further, NORDENSKIÖLD 1884, and HILDEBRAND 1937, p. 68).

The fossil material, which gave rise to these declarations, was foreign in origin. But from Swedish soil also finds were revealed which it was desired to regard as a proof that a hardier race had its habitat in our latitudes. In a paper published in 1740 J. J. v. DÖBELN described certain skeleton parts found in 1730 at Falkenberg, province of Halland; later on they were determined by CUVIER as belonging to an elephant (cf. KORVENKONTIO 1914, p. 18).¹ In 1705 already in the parish of Vånga, 2 Swedish miles from Skara, had been »found a skeleton consisting of legs, bones, etc.: if the skull had been beside them it would have been thought that it was a Swedish Polyphenus or Cyclops, who had forged the weapons of Vulcan for our Mars, or some other of the Gothic heroes or wrestlers. It was taken to Upsala, and everything which could be put together was put together: but when the bones with the joints were carefully inspected, it was a whale or some other large fish» (translated from the Swedish).² The quotation is taken from SWEDENBORG's work »Om Watnens högd och Förra Werldens Starcka Ebb och Flod. Bewjs vtur Swergie» (On the height of water and the strong tides in the primeval world. Proofs from Sweden). 1719 (pp. 29—30). As is surmised there, the remains were those of a whale, which was subsequently described by LILLJEBORG under the name of *Balaena swedenborgii* (according to modern nomenclature *Eubalaena s.*; cf. also AURIVILLIUS 1888, and NYBELIN 1942 and 1947). According to NATHORST, the credit of identifying the find falls to the above-mentioned Uppsala Professor ROBERG and not to SWEDENBORG, who appears at first to have entertained the opinion that the bones actually originated from a giant.³

From the paper in which NATHORST collocated information of geological and palaeontological interest from SWEDENBORG's works (NATHORST 1906, English ed. 1908) the most important may be given here.

In a 1717 issue of the periodical published by him, »Daedalus Hyperboreus» (fac-simile edit. published in »Kungliga Vetenskaps Societetens i Upsala tvåhundraårsminne». — Upsala 1910), SWEDENBORG drew without any mention of them in the text — two fossils, which G. HOLM supposed had originated from Gotland, namely a species of *Calymene* (fig. 1) and *Atrypa reticularis* (LINNÉ) (fig. 2). His chief palaeontological observations were presented in a work of 1722, »Miscellanea observata circa res naturales & praesertim circa mineralia, ignem & montium strata». In this are found, on one plate, Cretaceous fossils, mostly molluscs, from Lousberg

¹ Note also a find of mammoth from Finland given to the Swedish Academy of Science in 1751 (LÖNNBERG 1916, p. 2; also mentioned in 1904 by G. HOLM in Geol. Fören. Stockholm Förh. 26, p. 238, and in 1945 by P. GEIJER in KULLING, »Om fynd av mammut vid Pilgrimstad i Jämtland». — Sver. Geol. Unders. Ser. C. 473, p. 9; see further O. KULLING, 1946, »En gengångare från istiden». — Ymer. 66: 1). Cf. the Addendum, p. 64 below!

² »funnit ett Benragel af leggor, knotar och mera: om hofwudskålen hade legat brede wid, så har man trodt thet warit en Svensk Polyphenus eller Cyclops, som har smidt Vulcani Wapn för vår Mars, eller någon annan af de Göthiska Hieltar eller Bråtare. Blef jemwel fördt til Upsala, och alt som henga kunde tilhopa, sammansatt: men när benen med fogningarna såges noga efter, så war thet en Hwal eller annan stor Fisk».

³ According to kind information (by letter) of Professor J. NORDSTRÖM, Uppsala, the Vånga whale was mentioned already by JACOB LUDENIUS in »De Lithogenesia Macro et microcosmi». — Leyden 1713. This work, which the present author unfortunately has not had an opportunity of seeing, is also said to contain reflections concerning the nature of the fossils (MODEER, 1786, p. 118: »Pars prior Lapidum generationem & petrificationis modos exhibet»). It is quoted by BROMELL (1727, p. 307; 1729, pp. 494—495).

near Aix-la-Chapelle, several of which it has been possible to determine specifically; on another Carboniferous (Westphalian A) plants from Chartreux near Liège, and these are fairly recognizable (cf. also RENIER 1943). SWEDENBORG was the first Swede to describe plant fossils, and he also realized that they were real plants which had been embedded in silt. Another description of fossils, which is of interest because it is the first and for 175 years the only one of its kind by a Swedish author,



Fig. 1. Section of the plate accompanying »*Dædalus Hyperboreus*», 5 (1717), showing *Calymene* sp. (from Gotland?) in four different aspects. — Reproduced in the original size.



Fig. 2. Cf. the explanation of fig. 1. The present figure shows an impression of *At-rypa reticularis* (LINNÉ) (from Gotland?). — Reproduced in the original size.

was given by SWEDENBORG (1734) in the third part of the great work »*Opera philosophica et mineralia*». In this is given a splendid copper-plate of a skeleton of a saurian from the copper slate (Lower Zechstein) at Glücksborg in Sachsen-Meiningen. The fossil, which was subsequently described as *Protorosaurus speneri* H. MEYER, was apprehended by SWEDENBORG as a beast of prey living in the sea, »*felis marina*».

On various occasions SWEDENBORG speaks on the subject of the sedimentary rocks in Vestergötland, in which he found »In Billingen and other places, twelve miles from the sea, other marine animals, swimming creatures and strange insects, which

are entirely hidden in and transformed into stone¹, showing that the stratum was once formed as ooze, particles silted up, clay and sand during a general flood (SWEDENBORG 1719; translated from the Swedish). He considered that the dolerite of the Vestergötland mountains had the same origin.² SWEDENBORG saw another proof of the supposed universal flood in the Quaternary shell beds at Uddevalla. He had no conception of the difference in age between the latter and other fossil-bearing deposits which were known to him.

In the previously mentioned work of 1719 SWEDENBORG gives the first Swedish stratigraphic description, repeated in 1722, in that within the series of strata north of Hälsingborg in Scania he distinguishes ten layers, of which, according to LUNDGREN (1878, pp. 2—3), the three uppermost belong to the Quaternary, the others to the coal-bearing (Rhaetic-Liassic) formation: »At Helsingborg there are also several layers of stone and earth; at the bottom there is brown, then red, then gray stone, above them sandstone to the thickness of a fathom; then white, brown, blue and black shales alternating with one another, a bed of coal above them, and then a blue slate-like stone, which melts in water and is full of salt» (SWEDENBORG 1719, p. 23; translated from the Swedish).³

In connexion with the Swedenborgian whale, the name was mentioned of LARS ROBERG, Professor of Anatomy and Practical Medicine at Uppsala. In an addendum to his »Dissertatio Academica de Fluviali Astaco ejusque Usu medico» he had

¹ »i Billingen och annorstedes tolf mil ifrån Hafwet, andra Hafsiur, simmande kräk och underliga insecter, som helt gömnda och förwända äro i sten».

² This conception of the nature of dolerite persisted for a long time. In 1767 HERMELIN explains (p. 23) that »Trapp är en Hälle-art, bestående af förstenad järnlera» (»Trap is a species of rock consisting of petrified iron-clay»), and still towards the end of the century HISINGER (1797, pp. 40—41) expressed an opinion in the same direction: »Hvad Vestgötha Flo-trapp angår, tyckes alla omständigheter föranleda at tro den danad på våta vägen, liksom underliggande flötshvarf, och at skapnaden bör tillskrifvas massans krympning under dess torkning» (»With regard to the bedded dolerite of Vestergötland, all circumstances seem to give us reason to believe that it was formed in water, in the same way as the underlying strata, and that its shape should be ascribed to the shrinking of the mass during drying»). Clearly influenced by HISINGER's description, WAHLENBERG (1818, pp. 12—13) described the dolerite as »Basalt or a clayey mass, which while drying split up into hexagonal pillars» (translated from the Swedish). Later on in the same paper (p. 45) is to be read the following: »The trap bed, which is the uppermost crown of the Vestergötland mountains, has» — — »like the preceding layer, a great clay content, but has so far assumed a crystalline nature that, owing, to weathering, the whole mass, under the free influence of the meteors [i. e. the agencies of the atmosphere] disintegrates into more or less coarse grains of sand, and therefore among the country people is, not without reason, called sandstone». — — »With the crystalline texture, too, all traces of living creatures have vanished from it» (translated from the Swedish).

Thus the Neptunian theory can be traced back to SWEDENBORG and already had a firm tradition in Sweden when its ideas were advanced by A. G. WERNER in Freiberg.

³ »Wid Helsingborg finnes ock åtskillige Sten- och Jord-hwarf; nederst ligger brun, sedan röd, så grå-sten, ofwanpå sandsten till en famns tiöcklek; ther på hwit, brun, blå och swart skifwer hwarftals, ett hwarf Stenkohl ther ofwan på, så en blå skifwerachtig sten, som smelter i watn, och är full af salt».

As early as in 1708, J. J. DÖBELIUS (v. DÖBELN), subsequently (1710) Professor at Lund, had published a »Beskrifning om Ramlösa hälso- och surbrunns uppfinnande» (On the discovery of the Ramlösa spa), but without making any real contribution to the knowledge of the geology of the district, perhaps for reasons which need no longer keep anyone from geological observations in the surroundings of Hälsingborg: »In olden times, and long before the last Scanian War, according to what is told by a peasant, SVEN NILSSON, (who lived at Ramlösa for more than 50 years), no one ventured to go there oftener, where the Spring is, than in the summer, when they wanted to cut the grass, as it was very unsafe in view of the dense forest which formerly stood there, in which a band of Robbers and Murderers had their resort, where they did great damage,

already in 1715 described and figured two trilobite pygidia found in loose stones on Vaddö in Roslagen. One of them is undoubtedly *Megalaspis limbata* (BOECK) (fig. 3), the other one is indeterminable (DALMAN 1827, p. 89, considered the specimens figured by ROBERG to belong to *Asaphus expansus*). With this little work ROBERG will probably have been the first to deal with Swedish fossil material in writing, at least pre-Quaternary one. He may be given the credit for having clearly assigned the fossils he met with among the crustaceans (cf. WIMAN 1903, p. 13 et seq.).

ROBERG's treatise »De Metallo Dannemorensi» (1716) is also of a certain interest from the Quaternary geological point of view, for in it is found a figure of varved clay from the Uppsala district. ZENZÉN (1934), who collected observations concern-

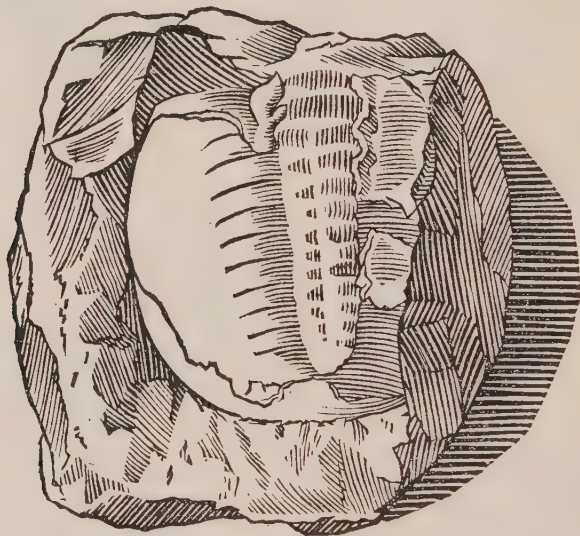


Fig. 3. *Megalaspis limbata* (BOECK) (boulder from Vaddö), fig. H on the plate accompanying ROBERG's paper of 1715. — Reproduced in the original size.

ing varved clay in the earlier Swedish literature, thinks it probable that this kind of rock attracted the attention of research workers as early as at the end of the 17th century, which is indicated by certain expressions of opinion by URBAN HJÄRNE, inter alia in his well known questionnaire »Een kort Anledning Till Åtskillige Malm- och Bergarters, Mineraliers Wäxters, och Jordeslags, samt flere sällsamme Tings effterspöriande och angifwande» (1694). Another of the oldest statements on the subject is found in the »Relatio Epistolica de Itinere suo Suecico Anno MDCCVII facto» (1720) by J. F. LEOPOLD, a doctor at Lübeck. A couple of palaeontological

not only around in the country, but also to the outgoing and incoming Ships through the Sound, for which they always lay in wait on a large hill situated opposite the Spring, where a large cave is still found with an exit on the land side, and is therefore called the Murderers' Cave by the common people still today» (DÖBELIUS 1708, pp. 2—3; translated from the Swedish).

On the other hand, certain information about the formation of the series of strata, and especially the coal seams, in the Hälsingborg district was given later by BENZELSTIERN (1741, pp. 243—244) in his »Berättelse om åtskillige nyare Malm- och Mineral-Upfinningar i Riket» (Report on several recent discoveries of ores and minerals in Sweden).

notes are also included in it. Thus on plate 1 is reproduced a *Terebratula*, and on plate 2 *Ostrea vesicularis* LAMARCK, both from the Cretaceous (Danian) limestone at Limhamn S. W. of Malmö¹, and on plate 8 two Silurian corals from Gotland, one of them a simple coral, the other an *Entelophyllum* or something similar.

6. Bromell

Within the earlier history of Swedish palaeontology the name of MAGNUS v. BROMELL deserves mention with special recognition, for its bearer was the first Swedish author of a work with entirely palaeontological contents. In the publication issued in Uppsala »Acta Literaria (et Scientiarum) Sveciae», volumes 2 and 3, he published during the years 1727—30 his »Lithographiae Svecanae specimen secundum». The first part of the same work, which had appeared earlier, contains a description of concretions in the bodies of man and animals.

BROMELL possessed natural history collections which were very comprehensive for the time. According to kind information from Mr. V. JAANUSSON, the palaeontological objects are now in the Palaeontological Institution of Uppsala University. The specimens are accompanied by labels with references to figures etc. On the basis of his collections BROMELL described a fairly large number of Swedish fossils. A study of his work proves to be worth the trouble.

After a short survey of the foreign and the few Swedish authors who had devoted attention to fossils, it is stated that the majority, if not all, of our fossils are remains from the Deluge, to which they themselves can bear witness according to St. Luke, Chap. 19, v. 40.² Their organic nature is expressly emphasized. The treatise consists of two parts; the first and most comprehensive, published in Acta Literaria 1727—28, is called »De vegeta[bil]ibus fossilibus & lapidefactis», the second in the volume for 1729—30, is entitled »De animalibus fossilibus, illorumque variis partibus petrifactis».

In the first part are collocated a very heterogenous collection of fossil and recent organisms from the vegetable and animal kingdoms. The first chapter, »De Lithophytis fossilibus Svecanis», consists of three parts: »De Musco incrustato & in lapide depicto», »De foliorum impressionibus & vestigiis in variis lapidibus», and »De Lithoxylis».

It is not very easy always to discover what the different descriptions refer to, especially when there are no illustrations. The »mosses» of the first part appear to consist of *Dictyonema flabelliforme* (according to the interpretation of TULLBERG 1882, pp. 3—4) in stinkstone from Skänninge in Östergötland, bryozoans in flint from the parish of Kropp in Scania, and real mosses preserved in post-Glacial fresh-water limestone from Mösseberg and from Nygårdén near Visby. In the second part about leaf impressions a tufaceous limestone is also included, with — as it is expressed »Cerasi foliorum vestigia», perhaps to be identified rather with imprints of leaves

¹ Some years earlier DÖBELIUS (1706, p. 218) indicates »Liemhaffen» (i. e. Limhamn) as the finest limestone deposit in Scania. The rocks which were utilized for lime-burning are briefly described. Other geological conditions and fossil contents are not touched upon.

² »Sufficit, me» — — »credere & affirmare, quod pleraque, si non omnia, petrificata nostra, heic memoranda, sint ipsius diluvii universalis reliquiae ac rudera, quae jubente Salvatore nostro apud Lucam Cap. 19 v. 40 sacrum literarum veritatem testari possunt ac debent» (pp. 308—309). The place in the Bible referred to runs: »But he answered and said: I tell you that if these should hold their peace, the stones would immediately cry out».

belonging to some species of *Salix*. The specimen which, like several others, was obtained from KILIAN STOBÆUS, was taken from church ruins in Lund, probably from the old All Saints' Church, which was partly built of freshwater limestone, presumed to have been brought from Benestad (cf. KURCK 1901, pp. 4–5). BROMELL states that the specimens originate from the cathedral (»pantheon Lundense»), which can hardly have been the case, however, as in the following sentence mention is made of the ruins (»rudera») of that church.¹ Other supposed plant impressions in a black, fissile species of rock from Dala in Vestergötland are assumed by TULLBERG (1882, p. 4) to be graptolites. In the last part of the first chapter, about petrified wood, a description is given i. a. of a piece of wood impregnated with blue vitriol from the Falu copper mine, and in connexion with it it is mentioned that not only plants have become as hard as stone from the effect of the mine water, but that parts of human bodies have been preserved in the same way. Incidentally, as the best known example of this may be recalled the so-called Fet-Mats (Fat Mats), the miner MATS ISRAELSSON, who lost his life in the Falu mine in 1677, and whose body was found forty-two years later without any trace of decomposition. After various vicissitudes his mortal remains found a peaceful resting-place in the churchyard at Stora Kopparberg in 1930. An exhaustive account of the find, accompanied by an expressive illustration, is included in the first volume of *Acta Literaria Sveciae* (1722, p. 250 et seq.). Its author was ADAM LEYEL. The last time Fat Mats is mentioned in scientific literature is in a paper by WIMAN (1940). The miner of eternal youth has also afforded material for literary works. The motif was borrowed, i. a., by the German romanticists ARNIM and E. T. A. HOFFMAN and by PER HALLSTRÖM. This is only mentioned as a cultural-historical curiosity.

To return to BROMELL's »*Lithographia Svecana*». The second chapter (1728) bears the heading »De vegetabilibus marinis lapideis ex terra effosis», and the first part of it »De coralliis fossilibus». Fossil corals are said to be found more numerous in Sweden, especially in Gotland, than elsewhere.

Some of the forms described here appear impossible to interpret; in the case of others one can only venture a guess. Thus it appears as though the material in question had included a recent hydrozoan, possibly *Sertularia* (entered as no. 1), and bryozoans, fossil and recent, i. a. from Lomma in Scania. From Övedskloster or, as

¹ Cf. RETZIUS (1776, p. 86): »Efter jag nämt Allhelgone Kyrka, torde jag få lof, äfven något tala om det besynnerliga Murbruk, man i des lämningar igenfunnit. De klossar som voro qvare då jag kom hit til Lund 1757, liknade ingen ting mindre än redig murning, utan förekommo mig, som hade man hopprödt en ofantelig mängd Kalk med löf och halmstrå utan sand, och däruti vräkt tegelstenar och den omnämde svarta Kalksten. Vore icke desse stenarter däruti likasom inpackade, skulle jag vara benägen at tro detta murbruk vara naturligt och icke med konst tilredt; ty 1:o finner jag icke spor til sand däruti. 2:o har det en gul färg. 3:o Är det väl gryngt, men tillika poröst och tyckes hafva samma tillkomst som den stalactitiske Kalken från Stevens. 4:o Har jag därutinnan funnit några få ocalcinerade Snäckor» (»As I have mentioned All Saints' Church, I may be permitted to say something also of the remarkable mortar found in these ruins. The blocks which remained when I came here to Lund in 1757 resembled least of all proper mortar, but appeared to me as though an enormous mass of lime had been stirred up with leaves and straw without sand, and in it had been tumbled bricks and the black limestone referred to. If these stones had not been, as it were, packed into it, I should have been inclined to believe that this mortar was natural and had not been artificially prepared; for 1. I find no trace of sand in it, 2. it is yellow in colour, 3. it is very granular, but nevertheless porous and seems to be of the same origin as the stalactite limestone from Stevens, 4. I have found in it some few uncalcinated shells»).

Freshwater limestone from Benestad has been utilized in the Cathedral of Lund as well, e. g. for the vaults in the crypt.

13. *Coralli fossilis subalbidi ac levis ramuli tenues geniculati ac ramosi. Ex insula Carolina montibus calcariis in Gothlandia.*



14. *Madrepore sive coralli fossilis punctulati ramuli diversa magnitudinis ac crassitiei, à digiti minimi ad pollicis latitudinem ascendentes. Ex eadem insula Carolina.*



Tenuioris ramuli imaginem figura addita fislit.

15. *Madrepore fossilis major bifurcata, sive corallium cineris coloris fossile ramosum, porulus stelliformibus pervium. Ex eadem insula Carolina montibus calcariis.*



Magnitudinem & iconem hujus ramuli figura addita exhibet, præter quem alium ejusdem generis ramulum sed elegantiores possideo, cujus in porosam & stellatam

Fig. 4. Page 366 of BROMELL's »Lithographia Svecana» (1728), showing specimens of *Thamnopora* and/or *Striatopora* (from Gotland). — Approximately 3/5 of the original size.

it is called in the original text, »ex agris monasterii Sancti Ovidii in Scaniae territorio Fersiano», are cited a couple of forms which could not be determined. On the other hand, a number of corals from Gotland and (probably Stora) Karlsö can be more or less recognized, viz. *Coenites* or possibly *Syringopora* (no. 11), *Thamnopora* (*Pachypora*) and/or *Striatopora* (nos. 13—15; cf. also LINDSTRÖM 1896, p. 23) (fig. 4). Another form, also from Gotland, may have been an *Astylospongia* (no. 24). In the second part of the chapter, »De lapidibus corallinis», forms are described, which are said to differ from those previously mentioned in that they have tubes instead of pores and are seldom ramified. Among them are *Favosites* and *Halysites* (figs. 5—6), of which fairly good illustrations are given. Others are more dubious. Thus one specimen (no. 11) suggested to BROMELL on the one hand an Indian flower with opened petals, and on the other hand the radial lamellar top of a fungus. The appended illustration appears rather to indicate a *Favosites*, a flattened colony seen from below. The third part deals with »Fungites», sponges from the depths of the Ocean. First are cited some from Scanian localities: Andrarum, Övedskloster, and Lomma, clearly things which are but little comparable, and which can hardly be identified now. Then follow a number of corals, mostly simple corals, from Gotland, partly illustrated with fairly characteristic figures, thus »petrified ram's horns», almost certainly *Cyathophyllum* sensu latu (no. 6), *Chonophyllum*? *patellatum* (SCHLOT-

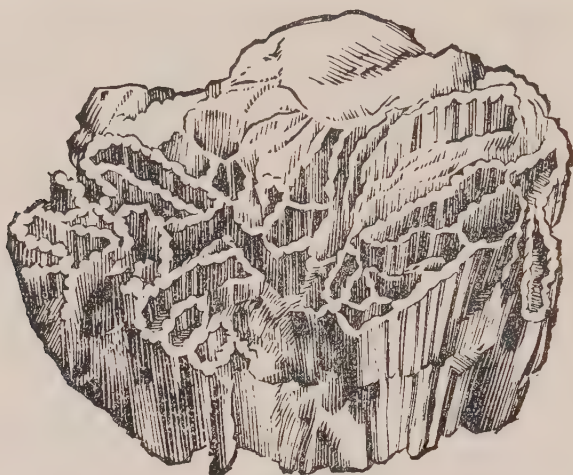


Fig. 5. *Halysites* (no. 4) (from Gotland), from p. 410 of BROMELL's »Lithographia Svecana» (1728). — Reproduced in the original size.

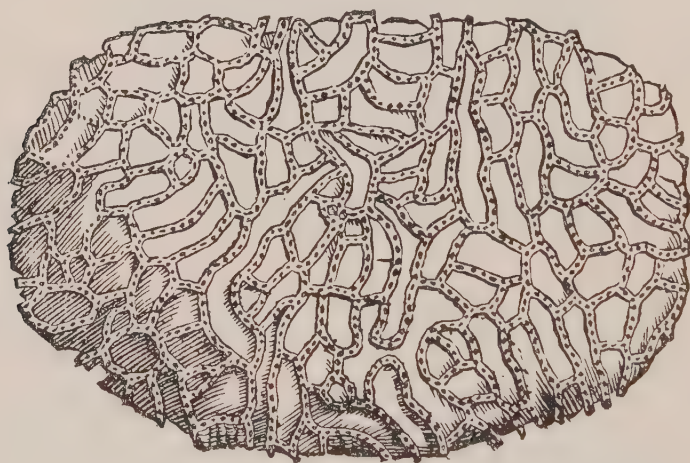


Fig. 6. *Halysites* (no. 7) (from Gotland), from p. 412 of BROMELL's »Lithographia Svecana» (1728). — Reproduced in the original size.

HEIM) (nos. 7, 11, possibly 16) (fig. 7), *Goniophyllum pyramidale* (HISINGER) (no. 8) (fig. 8), *Porpites porpites* (LINNÉ) (*Palaeocyclus porpita*) (nos. 9, 10) (fig. 8), *Pseudomphyma turbinata* WEDEKIND (no. 12), probably *Cystiphyllum siluriense* LONSDALE (no. 18) and *Thecia cribrosa* (EICHWALD) or possibly *Strombodes* sp. (no. 20), *Codonophyllum truncatum* (LINNÉ) (no. 21) (fig. 9), and *Acerularia* sp. (no. 26, fig. 5). Further, some forms are given about which the present writer does not dare to express any opinion. One of them is said to have been described and illustrated in the previously mentioned work by LEOPOLD; the latter's figures cannot be identified, however.



Fig. 7. *Chonophyllum? patellatum* (SCHLOTHEIM) (no. 11) (from Gotland), from p. 461 of BROMELL'S »Lithographia Svecana» (1728). — Reproduced in the original size.

With this BROMELL concludes his account of the organisms which he assigns to the vegetable kingdom and passes on to the second part, which deals with the fossil animal kingdom of Sweden, as far as it was known to him. The first chapter is entitled »De lapidibus insectiferis & tubulis vermicularibus», and its first part »De lapidibus insectiferis Scanicis & Gothicis» (1729).

BROMELL emphasizes that it had been known from ancient times that insects may be enclosed in the hard and transparent amber. It is still more surprising, it is pointed out, that remains of insects, nay, even of worms, are found buried in the hardest stone. From abroad have come descriptions of living worms which live in stones and erode the rock itself, and of stones which are full of exuviae of bees, dor beetles and worms. In our country such phenomena are rare. What BROMELL apprehended as insects are, of course, in reality trilobites. He figures (pp. 496 and 497) shale from the Andrarum alum works containing a species of *Olenus*, according to WESTERGÅRD (1922, p. 7) probably *O. truncatus* (BRÜNNICH) (fig. 10). Further, we find trilobites from Vestergötland, which can be recognized from the illustrations as *Agnostus pisiformis* (LINNÉ) (nos. 4 and 5) (fig. 11) and *Peltura*, according to WESTERGÅRD (l. c.) *P. scarabaeoides* (WAHLENBERG) (nos. 3, 6). Here is given, probably for the first time, the etymological explanation of the word »orsten» (Swedish name for stinkstone): the rock thus designated was used as a remedy for the so-called »oran», a pig disease¹ (BROMELL 1729, p. 525). The Latin name »lapis suillis», pig stone, refers to the same thing.

No immediate conclusions can be drawn as to what lies behind some of the other forms cited in this part. What are described as the impressions of butterflies are probably rather trilobite pygidia.² The second part of the chapter is entitled »De

¹ Really »ol»: Lameness in the feet (according to G. HOLM, 1901. Kinnekulle. — Sver. Geol. Unders. Ser. C. 172. Stockholm, pp. 18—19).

² It may be of interest to note in this connexion that specimens (pygidia) of *Dalmanites meridianus* in the quarry at Wandong in Victoria are known to the workmen as »fossil butterflies» (F. CHAPMAN, 1914. Australasian fossils. — Melbourne, p. 231).

tubulitis vermicularibus». Of the forms described here two, from Gotland and Bjär-sjölagård in Scania respectively, may possibly be tentaculites, the third — from Marstrand — is probably some recent worm tube.

Then follows the last chapter of the treatise, »Testacea fossilia lapidesque Conchi-formes continens». The first part is entitled »De Testaceis marinis variis, quae in-tegra & immutata e tellure effodiuntur». Within »Testacea» are distinguished two

446

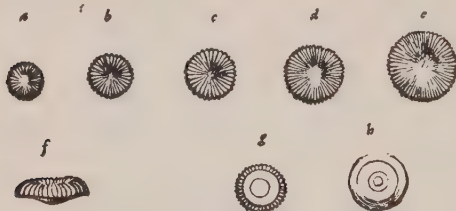
ACTA LITER. SVEDICÆ

8. *Fungita*, mediae magnitudinis, tetragoni Gorblandici, quorum pileuli orificium vel quadratum, vid. Fig. a, vel rhomboidale, Fig. b. pediculus autem brevis & exiguus existit.



9. *Fungitarum minimorum pediculo destitutorum capitula parva striata ac trochiscorum instar crenata, collecta in litore maris Gorblandie.*

Fungitæ talis utrumque latus ex adverso depictum sistitur, ubi literæ a, b, c, d, e, & f, partem eorundem superiorem indicant. Lit. g autem & h inferiorem, in qua pediculi detriti superstes adhuc dum vestigium distincte discernitur.



Lapillos tales ténues crenatos, & circulares, *Calceolaria* in Museo suo p. 328. Numismales, a similitudine cum numis, vocavit. *Lutidius* autem similes in *Anglia* repertos loc. cit. N:o 151. porpitzæ minoris nummularis



Fig. 8. Page 446 of BROMELL'S »Lithographia Svecana» (1728), showing specimens of *Goniophyllum pyramidale* (HISINGER) and *Porpites porpites* (LINNÉ) (from Gotland). — Approximately 3/5 of the original size.

Fig. 9. *Codonophyllum truncatum* (LINNÉ) (no. 21) (from Gotland), from p. 465 of BROMELL'S »Lithographia Svecana» (1728). — Reproduced in the original size.

groups: Univalvia and Bivalvia. A shell-bearing Quaternary clay (»Bolus purpurei Coloris», according to MUNTIE 1895, p. 1, probably a Litorina deposit with *Mytilus* shells) from Österhaninge south of Stockholm, *Cardium edule* from Brunkebergssås, and shell-bed molluscs from Uddevalla are cited here along with Cretaceous fossils from Scanian localities, i. a. *Crania* (»brattingsborgspenning») from Ivö and Ignaberga, according to LUNDGREN (1885, pp. 25 and 30) *C. craniolaris* (LINNÉ)¹ and *C.*

¹ »6. Umbilici marini, an blattæ bysantinae vel alius testacei univalvis fossilis nova & ignota species, reperta in litore lacus Ifwö in Territorio Villandico, 2 milliar. ab urbe Christianstadt in Scania» (BROMELL 1729, p. 560).

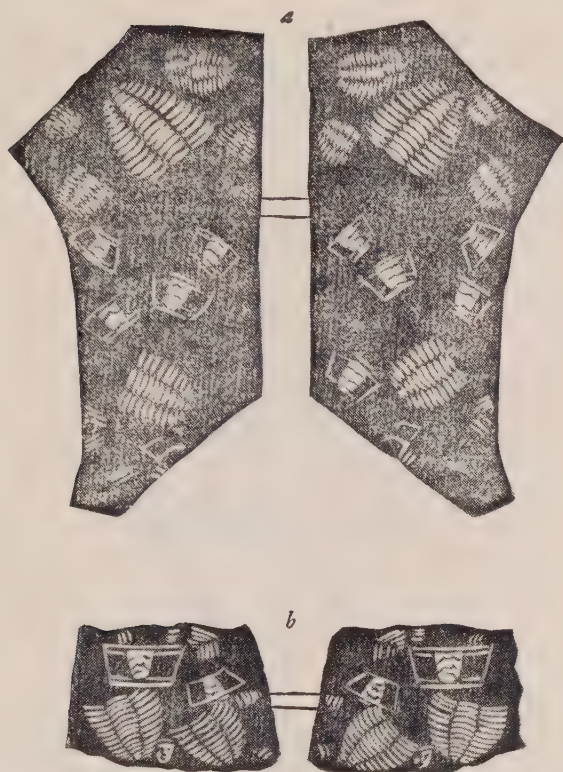


Fig. 10. Slabs of alum-shale with *Olenus* (from Andrarum), from p. 496 of BROMELL's »Lithographia Svecana» (1729). — Approximately 4/5 of the original size.

(*Isocrania*) *ignabergensis* RETZIUS.¹ Further, a description is given (pp. 558—560) of the Balsberg cave, or, as it is called, »Fläskegraven» (The Pork Cave), »Fossa lardi», according to statements made to BROMELL by JOHAN HENRIK FERBER, the apothecary at Karlskrona. The cave is said to have got its name from the inhabitants of the district having hidden pork and other foodstuffs in it during the free-booter feud.² A good account is given of the nature of the Cretaceous shell fragment limestone in the cave.

The last fossils mentioned in this part appear to have been remains of balanids found at Smedtofta in Vestergötland; they are said to recall exotic forms which are not met with in our seas, and therefore must be assumed to be proof of a general deluge.³

¹ »7. Ejusdem generis ac indolis alia minora specimina, lapidi calcario candido, ceu matrici adnata, ex lapidina Egnabergensi in Scania» (BROMELL 1729, p. 561).

² According to another explanation, the name »Fläskegraven» derives from an old method of blasting rock by means of making it extremely hot, which was effected by burning pork or other fat applied to the rock face, and subsequently pouring water on it (cf. GERTZ 1942, pp. 8 and 12). OLAUS MAGNUS tells that three hundred sides of pork were required for blasting the well at Läckö Castle in Vestergötland, which reaches 27 m down into the rock and is called »fläskgraven» (cf. G. NÄSSTRÖM, 1941. Forna dagars Sverige. Stockholm. P. 315).

³ »Ad substantiam earundem quod spectat, testacea haec est, testis balanorum exoticorum



5. Ejusdem generis latices infestiferi, circa cenobium *Weprozothia celebratissimum Warnhemense* collecti. Hi figura cum proxime memoratis conveniunt, nec nisi natali loco differunt.

Tr. II.

Bbbb

6. Saxum

Fig. 11. Page 527 of BROMELL's *Lithographia Svecana* (1729), showing a specimen of stink-stone with *Agnostus pisiformis* (LINNÉ) (from Varnhem). — Approximately 3/5 of the original size.

Thus here a glimpse is caught of the conception that fossils, or at least certain of them, were organisms living in the sea, which in some way or other chanced to end up on land. In the same way LINNÉ considered that the fossil corals which he found along the coasts of Gotland, had been broken off by the waves and washed ashore from coral reefs growing at the bottom of the Baltic (LINNAEUS 1745 a. p. 190). an opinion which he later abandoned in the case of these corals (*»Museum Tessinianum»*. 1753; cf. LINDSTRÖM 1895, p. 625). Another statement in *»Öländska och Gothländska resa»* (1745 a, p. 142) bears witness to a similar line of thought: *»We searched in vain over the whole of Öland, to find on the shore the shell, of which the Daggers [i. e. the orthoceratites] which are found in all stones here, are undoubtedly petrifications: for such Daggers are often found here quite hollow, so that the shell and the dissepiments are quite empty»* (translated from the Swedish).¹ In LINNÉ's *»Wästgöta-Resa»* (1747, p. 41) there stands: *»Pesar' [penes] and Stone Pistons are*

simillima, ita ut mirari liceat, quomodo, sine diluvii universalis praesumptione, animalculum marinum adeo peregrinum, nostroque oceano ignotum, ad Regionis Borealis loca mediterranea pervenerit» (BROMELL 1729, p. 562).

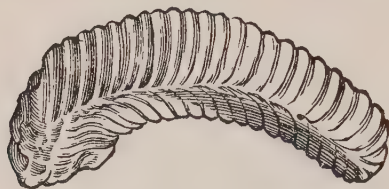
¹ *»Wi sökte fåfångt öfwer hela Öland, att få det Snäckskalet vid stranden, hwaraf Darterna, som här finnas i alla stenar, äro ofelbart petrificationer: ty man finner här ofta sådane Darter aldeles iholige, at crusta och dissepimenta ligga helt tomma»*.

the names given here to the same kind of stones as those found in quantities on Öland, and are there called Daggers; they are found here in masses in the limestone, also as on Öland. They are nothing but petrifications of a kind of shell which is called *Nautilus rectus*, whose petrified shells are the rarest in all shell cabinets. That formerly such shells were fairly common in Sweden is shown by Öland as well as by Kinnekulle; but where they have now gone no one knows; some mussels and shells live close to the shores, other sorts never leave the depths; thus I do not know whether those mentioned above still exist in the depths of the Baltic, or whether they moved according to the seasons like the herring, to the deepest part of the Western Ocean» (translated from the Swedish).¹ Even later, as in the 10th edition of »Systema naturae», which forms the basis of the Binary nomenclature, LINNÉ (LINNAEUS 1758, p. 711) writes about »*Nautilus Orthocera*»: »Habitat in alto Pelago? Fossilis», and in 1759 (pp. 19—20) he returned to the problem of the original habitat of fossil organisms. Further, a quotation may be cited here from a treatise by KALM (1754, p. 8), mentioned earlier: »Quis autem abyssos omnes maris pervestigavit & invisit? Petrificatorum vero maxima pars oceano suam originem debet. Nonne immensae copiae animalium marinorum, cornua ammonis aliaque testacea petrifacta exactissime repraesentantes, in profundissimo ac vastissimo oceano, multis a quacunque terra miliaribus, degere possunt? Exigua valde simulque imperfectissima est cognitio, quam de incolis oceani habemus». It is only entirely consistent that at this time a critical scientist could ask himself such questions, in view of the clearly realised and acknowledged imperfections in the actual knowledge of life in the great ocean depths at that time.² A similar opinion was expressed by BERGMAN (see above, p. 4) and by MODEER (see below, p. 49).

The last part of BROMELL's »Lithographia Svecana» to be published was the second part of the second chapter of the second section, entitled »De Testaceis univalvibus lapideis tortuosis sive turbinatis, ad Cochlearum imaginem formatis» (1730). Under the name of *Nautilites* and *Cornu Ammonis* are there adduced, as nos. 1—8, fossils which are said to originate from Gotland. Nos. 1—2 are gastropods, or possibly coiled nautiloids; no. 3 is a long and narrow specimen of *Ostrea diluviana* (LINNÉ) which can hardly have been found on Gotland (fig. 12). Nos. 4—8 are planospiral gastropods, and, judging from the figure, no. 6 is probably a *Pleurogonia*. As no. 9 is included an ammonite from Scania, quite certainly *Puzosia* (*Parapuzosia*) *stobaei* (NILSSON): »Ad cornu Ammonis genus referre tandem etiam debeo rarum illum & insignem lapidem, serpentis skeleton referentem ex Scania, quem depictum verbis sequentibus descripsit OLAUS WORMIUS in musei sui lib. I. sect. 2. cap. XII. [OLE WORM: Museum Wormianum, Leyden 1655]. Ex ordine, inquit, lapidum, qui figura

¹ »Pesar och stenkolfwar kallades här på orten de samma slags stenar, som på Öland mycket finnes, och där kallades darter, de suto här öfverflödigt i Kalkstenen, äfwen som på Öland. De äro ej annat än petrificationer af et slags snäcka, som kallas *Nautilus rectus*, hwilkens petrificerade skal äro de raraste i alla Mussle-Cabinetter. At sådane snäckor fordom warit ganska allmänne i Sverige, wisa så Öland, som Kinnekulle; men hwarest de nu tagit wägen, wet man icke; somlige Musslor och Snäckor holla sig nära intil stränderne, andra sorter lämna aldrig djupet; jag wet altså icke, om desse ännu holla sig uti Östersjöns djup, eller om de flyttat efter tidernas omlopp, såsom Sillen, til det djupaste af Wästerhafwet.»

² In connexion with and, if desired, as a confirmation of the applicability of the lines just quoted may be recalled the extremely sensational find in 1938 off the coast of South Africa of a »living fossil», *Latimeria chalumnae* SMITH, belonging to the Coelacanthidae (the youngest branch of the Crossopterygii), a group which was not previously even known from post-Cretaceous deposits, and whose last representatives were believed to have become extinct 60 million years ago.



gnitudo, heic exprimitur, parum differens a particula illa Ammonis lapidea, quam Roërius de Boor in Hist. lap. cap. 246. Imperatus in Hist. nat. lib. XXIV. c. 26. & Scheuchzerus in Lithogr. Helvet. fig. 81. depictum exhibuerunt.

4. Cornu Ammonis magnitudinis insignis, leve, quatuor amfractuum sive spirarum, ex eadem Gotblandia. Quamvis nec spina nec articuli nautilitis exoticis adeo communes, in pereleganti hoc specimine Gothlandico appareant, cortex tamen tenuis, testaceus, striatus, eidem hinc inde adhæret, manifesto indicio nautili speciem fuisse rarissimam, & dignam sane, quæ icone illustraretur.

5. Cornu Ammonis candidum triplici orbe seu convolutione spirali instructum, & lapidi calcario fusco immersum.



Ex eadem insula. Nautilitæ hujus imago a latere visitur, ubi pars nigra matricem, candida autem cornu Ammonis matri innatum, indicat; utrumque autem lapidis hujus latus manu artificiosa positum est.

6. Cor-

Fig. 12. Page 30 of BROMELL's «Lithographia Svecana» (1730), showing a specimen of *Ostrea diluviana* (LINNÉ) (from Gotland according to BROMELL) and a gastropod (from Gotland). — Approximately 3/5 of the original size.

serpentem in spiras convolutum referunt, insignem possidet D.[ominus] FABRICIUS, cujus cum mihi particulam communicaverit, integrum hic delineare operæ duxi prætium. Grandis est, ambitu pedes ferme quatuor obtinens, in Diametro circumferentiae pedem unum cum unciis quatuor.» — — «In Scania inventus hic lapis — —». — — «Ferunt huic lapidi caput annexum fuisse, sed a minus curiosis amputatum periisse. Figura tamen & circumvolutionibus, magis Nautilus quam serpentem mihi referre videtur. Hactenus Cl.[arissimus] WORMIUS, qui rem acutetigit, & verum lapidis nomen indicavit. Ad illud enim Nautilitarum genus referri debet lapis hicce serpentiformis Scanicus, quod juncturis suis in superficie ornamenta foliacea exprimit, de quo genere consulatur LANGIUS l. c. & inprimis acutissimus BAJERUS in Oryctogr. Noricae cap. VII. [J. J. BAIER: Oryctographia Norica, Nürnberg 1708] ubi vir idem Eruditissimus simul argumenta egregia adducit, quibus probat omnia hæc cornua Ammonis, non serpentum spolia vel naturæ lusus, sed veras conchyliorum testas vel testarum ectypos fuisse. Nos similes Nautilitas Scanicos nondum vidimus, Clariss. tamen & lapidum Scanicorum indefessus indagator D.[ominus] Professor STOBÆUS, nuper transmisit curiosissimam relationem, de lapide quodam Scanico Nautilitis majoribus gravido, in Scaniae paroecia Andrarmensi, adhucdum prope viam publicam conspicuo, & ab ignaris pro lapide tali ser-

pentifero vendidato; quam alibi & quidem in curis secundis, lubens communicabo» (BROMELL 1730, pp. 32—33).

Nos. 10—24 are gastropods from different parts of the country and of varying geological ages. The figure of no. 25 shows a specimen found »prope templum Warne-siöense [Vadensjö?] in Scania», with a turret-shaped gastropod, brachiopods (probably *Rhynchonella*) and pieces of stems of pelmatozoans. The block was of Silurian limestone, possibly from Gotland. As nos. 26—28 we find gastropods from Gotland (as regards the Gotland gastropods in »Lithographia Svecana», see LINDSTRÖM 1884, p. 33). No. 29 exhibits an internal cast of a turret-shaped gastropod, quite certainly Quaternary, from Stigberget near Gothenburg. This is the last of the forms described in »Lithographia Svecana». The work was interrupted by the author's death in 1731.

Apart from the work reviewed above, BROMELL published a small handbook, »Mineralogia, eller Inledning til nödig kundskap at igenkiänna och uppfinna Allahanda Berg-Arter, Mineralier, Metaller samt Fossilier, Och huru de måge til sin rätta nytta användas» (Mineralogia, or an Introduction to the knowledge of recognizing and detecting divers Rocks, Minerals, Metals, and Fossils, and how they are to be utilized), 1730. The book was so appreciated that a second edition was published in 1739, after the author's death. Further, in 1740, a German edition was published, into which was incorporated some of the material from »Lithographia Svecana». The eighth chapter, »Om allahanda Petrificatis eller uti Sten förvandlade diur, hafs- och jord-wexter» (On various petrifications or petrified animals, sea plants and earth plants), which is on the whole a summary of »Lithographia Svecana», is reproduced here in its entirety. In order that the style of the original may not be entirely lost, the corresponding part from the 1740 German edition pp. 56 et seq. is cited, with corrections of slight printer's errors:

»§. 1. Vor eine gantz andere Art von Figur-Steinen, werden die so genannte petrificata, oder in Stein verwandelte Meer- und Erd-Gewächse gehalten, welche ihre Figur und Bildung nicht wie die jetzterwehnte Figur-Steine, von ohngefahr, oder einer uns unbekannten Ursache bekommen haben, sondern voraus dasjenige wirklich gewesen sind, dem sie nun gleichen, sie sind aber durch die allgemeine, grosse Sündfluth, oder einer andern späteren Fluth, aus dem Meere in die Berge gespület, und daselbst nachmahlen, durch eine subtile Kalk-Ausdünstung zu Stein verwandelt worden. Solche petrificata werden in- oder ausserhalb Landes überall in grosser Menge gefunden, jedoch von sehr ungleicher Gestalt, Art und Beschaffenheit. Deswegen werden sie am besten, in solche vertheilet, welche entweder zu *Vegetabilia* und Erd-Gewächse, oder zu *animalia* oder allerhand Thiere und See-Zucht gehören.

Zu denen petrificirten Erd-Gewächsen werden gerechnet:

1.) *Lithoxyla* oder in Stein verwandelte Bäume, Zweige und Wurtzeln.
2.) *Lithophyta*, allerhand Schiefer- Kalk und andere Steine, darin Abdrucke von Kräutern, Blättern und Stengeln zusehen. Wozu auch alles mit einer steinern Rinde überzogenes Grass und Moos gehört.

3.) *Lapides corallini*, alle aus dem Berg und der Erde aufgegrabene Steine, Corallen, Stein-Schwämme, Stern-Steine und Corall-Steins-Gewächse. Von solchen petrificirten Erd-Gewächsen, werden ausserhalb Landes gantze Berge voll gefunden, insonderheit in Engelland, Schweitz, Italien und Teutschland. Bey uns sind die beyden ersten Arten, noch ziemlich unbekannt und rare. Dahingegen findet man von der letzteren eine desto grössere Menge, insonderheit in Schonen und auf Gothland,

allwo allerhand schöne Steine, Stein-Corallen, und Corall-Steins-Gewächse, Schwämme in grosser Menge aus der Erde gegraben werden.

§. 2. Zu petrificirten Thieren, kleinen Ungeziefer und See-Zucht werden gerechnet:

1.) *Lapides insectiferi*; alle Schiefer- Kalck- und Orstein, mit dem Abdruck von kleinen Würmern und Insecten, nebst allerhand Figuren. Auf solche Art, wird bey dem Alaun-Werck in Schonen, ein schwartzer Alaun-Schiefer, mit goldglänzenden Würmer-Schaalen und allerhand Zeug, davon sie generirt werden, gebrochen. In West-Gothland und Ost-Gothland aber, eine anderer Schiefer-Stein, wie auch eine stinckende Orsteins-Art, worinnen klare Spuren von petrificierten kleinen Ungeziefer und Würmern zusehen sind.

2.) *Ichtyolithi*, aller Kalck und Schiefer Stein, mit dem Abdruck und Figuren von allerhand Fischen. Von solcher Beschaffenheit, ist der bekannte Hessische Mansfeldische und Eislebische schwartze Kupffer-Schiefer, worinn ein klarer und reiner Abdruck von Karutschen, Bärchen und Hechten observirt wird. Hieher gehören auch alle so genannte *Ichtyodontes Cuspidati & Scutellati*, *Ichtyospondyli*, *Hammitae* &c. Das ist allerhand petrificirte Fisch-Steine, Fisch-Rück-Grade, Gräten, und Fisch-Rögen, welche an unzehligen Stellen, in Italien, Engelland und Teutschland, aus der Erde gehohlet, und unter dem Nahmen von Glossopetris, Natter-Stacheln, Ornitoglossis, Vögel-Zungen, bufonitis, Frosch- und Kröten-Steinen, und pisolitis, oder Erbsen-Steinen pflegen aufgewiesen zu werden; Von rechtswegen aber vor nichts anders, als vor petrificirte Fisch-Rögen, Fisch-Beine und Fisch-Zähne müssen gehalten werden.

3.) *Crustacea fossilia punctulata*, *Malacostraca*, *Echinidae*, *Belemnidae*, *Entrochi*, *Asteriae*, *Columnares* &c. Das ist allerhand in Steine verwandelte Krebs- und Krabben-Schalen, See-Aepffel-Schalen, See-Sterne, mit ihren Stacheln, Strahlen, Gliedern und Füssen. Unter diesen hält man die petrificierte Krebs-Schalen, vor die allerraresten, dieweil dieselben so selten anderswo, als in denen südlichen Ländern bishero sind gefunden worden. Sie werden aber nunmehr nebst anderen petrificatis auf Gothland und in West-Gothland gefunden. Bekannter sind die in Schonen ange-troffene *brontiae spatagi* und *Echinidae*, eine Art kleine, knorrige, runde oder längliche, ebene und mit Puncten linienweiss gezeichnete Stein-Knöpfe, welche von unerfahrenen vor Kröten- oder Donner-Steine angesehen werden; Sie können aber vor nichts anders als vor die Schale selbst von einem kleinen See-Thiere *Echinus marinus*, See-Aepffel, Svet. Hafs-Igelkot genannt, gehalten werden.

Unter diesen findet man zuweilen einige kleine gekerbte längliche Stein Stacheln, ingleichen auch eine Art länglicher spitziger Stein-Stacheln, welche der gemeine Mann vor petrificierte Oliven, oder Luchs-Steine, ausgiebet, und ihre Ansehung dessen *lapides olivares*, *lyneis* und *lyneuros* nennt, jedoch nichts anders sind, als mancherley in Stein verwandelte Stacheln und Zacken, von denen jetzt angeführten See-Aepfeln, (oder Hafs-Igelkottar) welche mit solchen Stacheln auswärts überall bewaffnet sind.

So trifft man auch gleichermassen zum öfftern im Kalckstein auf Gothland [und] in Schonen eine Art kleine, platte, fünffkantige, oder runde dünne, einfache, ingleichen mit kleinen Gliedern zusammen gewachsene, inwendig hohle Steine an, welche unter dem Nahmen von *Entrocho Trochita* und *asteria columnari*, Stern- und Rad-Steine bekannt sind (Stiern och Hiul-Stenar). Von derselben Ursprung hat man zwar bishero noch keine vollkommene Kundschaft; jedoch werden sie von den mei-

sten Natur-Kündigern für petrificirte Füsse, Glieder und Strahlen, von einem viel-füssigen Meer-Thiere, *stella marinae* und *medusae caput* genannt, gehalten.

4.) Es wird aber von keiner Art petrificatorium in- und ausserhalb Landes eine grössere Menge in denen Kalck-Bergen und unter der Erde, als von denen petrificirten Schnecken, und Muschel-Schalen, gefunden. Diese werden entweder gantz rein und unverändert, aus der Erde gegraben, wie bey Uddewalla in Bahus lähn, oder in Stein verwandelt. Bisweilen auch nur allein blosser Thon und Stein-Füllung, von den Schnecken- und Muschel-Schalen selbst, welche nachhero mit der Zeit hart werden, und vor petrificirte Meer-Schalen aufgewiesen werden.

Zu *Univalvia turbinata* fossilia, oder petrificierten einfachen Schnecken-Schalen, werden allerhand Cochlitae, Nautilitae, Buccinitae, Trochitae, Strombitae und Cornu ammonis gerechnet, das sind alle mehr und minder gedrehte, ebene, knorrichte und wie Post-Hörner, Ammons-Hörner, und Schrauben gebildete petrificirte Schnecken-Schalen.

Zu *Bivalvia* fossilia, oder doppelte Stein-Muschel-Schalen, gehören alle conchitae, Ostracitae, pectinitae, Bucarditae, Gryphitae, Musculitae &c. Das ist allerhand doppelte und einfache, ebene und gekerbte, ohne oder mit langen Ohren petrificirte Oster- und Muschel-Schalen. Von allen diesen Arten findet man ausserhalb Landes eine unglaubliche Menge, an unterschiedlichen Orten in Italien, Frankreich, Engelland, Schweiz und Teutschland, woher sie von curieusen Leuten gesammelt, und in denen Cabinetten, als ein Überbleibsel von der grossen allgemeinen Sündfluth verwahrt werden. Bey uns sind solche petrificirte Schneck- und Muschel-Schalen, nebst allen übrigen petrificationem bishero ziemlich unbekannt und rar gewesen, sie werden aber nun mit grösseren Fleiss aufgesuchet, nachdem man von unterschiedenen Orten, in West- und Ost-Gothland, Rosslagen, Dalarna, Oeland und insonderheit auf Gothland und Schonen, so schöne und artige petrificata bekommen, als von einigen Stellen ausserhalb Landes.

Diejenige, welche von diesen und allen übrigen Schwedischen petrifactis nähere Nachricht verlangen, können mein in denen *Actis liter. Upsalens.* angeführtes *Specimen Ildum Lithographiae Suecanae* von Anno 1727 lesen; als woselbst ihren Begehren hoffentlich ein Genüge geschehen ist.

§. 3. Ausser denen hier angeführten unterirrdischen Meer-Thieren, werden auch ebenfals öftters aus der Erde allerhand Knochen und Keulen von allerhand grossen vierfüssigen Thieren, ja bisweilen das gantze Gerippe von Wallfischen, Elephanten, See-Kühen, Crocodilen, wie auch anderen ungeheuren Thieren, wovon Italien, Teutschland und Siberien, täglich Exempel aufweisen kan, ausgegraben.

Hier bey uns hat man an einigen Orten in West-Gothland zu ein oder andermahl aus der Erde grosse Schulter-Blätter, Rippen, Rück-Grade, Keulen und andere Knochen genommen, welche der gemeine Mann vor Riesen-Knochen hält, mit mehreren Recht aber, vor Knochen von Wallfischen und andern Meer-Thieren gehalten werden, so auf gleiche Art, als alle nechstvorher erwehnte unterirrdische See-Thiere und Muscheln, ausser Zweifel durch die grosse allgemeine Sündfluth, aus dem Meere in die Erde hinein geworffen sind, allwo sie die gantze Zeit über verborgen gelegen haben.»

BROMELL was more doubtful as to the real nature of certain other fossils. In the seventh chapter of his »Mineralogia», »Om allahanda Stenar, som någon sällsam owanlig Figur samt skapnad hafwa» (On various stones of singular strange figure and shape), is to be read: »On Öland is quarried a kind of grey-speckled coarse marble, used for floor-stones, in which are seen, not only various figures and paintings of

landscapes and maps, but also a kind of long, brownish spikes resembling in appearance narrow sticks, spears, rings and crescents, the origin and nature of which are still unknown. Similarly, sunk in the Gotland limestone, there are often a kind of round Stone balls, from the size and calibre of a small bullet to that of a large bomb, all so neatly rounded and turned that they could be used instead of balls in Cannons» (BROMELL 1739, pp. 41—42; translated from the Swedish¹). Obviously these are i. a. different sorts of cephalopods and, possibly, cystoids, even though in reality the latter do not appear in aggregations in the Gotland limestone, but rather in certain beds of the orthoceratite and Chasmops limestones.

One of those who contributed material to BROMELL's palaeontological works was JOHAN HESSELIUS, who, although not an expert, deserves to be remembered in this connexion. HESSELIUS never presented any of the results of his investigations in print, but at the meeting of Bokwettsgillet (the Guild of Book-learning) in Uppsala on 9th September 1720 »There was displayed a manuscript or description of petrifications and other species of stones in Vestrogothia, written by Mr. HESSELIUS, Medical Officer of the Province. When it was read out the following desires were expressed: 1. That of the there mentioned curled and rounded stinkstone lenses one or two should be sent up: also one with crystals in: those with petrified insects and sorts of dor beetles» etc. (translated from the Swedish², SCHÜCK 1918, p. 29).

HESSELIUS was SWEDENBORG's companion on his journey abroad in 1721 and collected some of the fossil plants which were described by the latter (NATHORST 1908, p. 27).

7. Kilian Stobaeus

Another of BROMELL's correspondents was KILIAN STOBÆUS (the Elder), the bearer of the most illustrious name in the earlier annals of natural scientific research in Lund. STOBÆUS was the first holder of a chair in natural science at Lund University and the founder of the natural history collections there. In his writings he deals in many places with palaeontological objects.

In the year 1752 STOBÆUS's »Opvscvla in qvibvs petrefactorvm nvmismatvm et antiquitatvm historia illvstratvr, in vnvm volumen collecta», containing a collection of previously published papers, later worked up again in part, appeared posthumously in Dantzic. The first work included in them is »De Nvmvlo Brattensbvrgensi, singvlari illo in Scania fossili: nec non de frondosis Cornv Ammonis evisdam maioris fragmentis. Scripta A. 1731», which is based on papers of 1731 and 1732.³ There two species of *Crania* are described. One, which is referred to as »Ostracites mini-

¹ »Uppå Öland brytes en art gråspråklig grof marmor, brukelig til gålfsten, hwaruti ei allenast åtskillige figurer och målningar af Landskap och Landkort synas. utan också ett slags långa brunachtiga piggar, liknandes til anseande smala kieppar. spit. ringar och halfmånar, om hwilkas ursprung och beskaffenhet man ännu är okunnig. Likaledes ligga uti den Gotlandske kalkstenen ofta ett slags trinna Stenbållar nedsänckte, ifrån en liten kulas til en stor bombs storlek och calibre, alla så nått rundade och swarf Wade at de i ställe för stycke kulor i Canoner skulle kunna brukas.»

² »Opwistes et manuscript, eller relation om petrificationer och andre stensorter i Westergylln, opsatt af Herr HESSELIO Medico Provinciali der i Provinsen. Wid Opläsningen desiderades följande

1. At af de där nämbde Ohrsteens bullar krusade och swarf Wade opsändes en eller två: också en sådan med christaller it: de med försteente insecter och af Tordyfwel Secter.»

³ Cf. the list of sources and literature.



Fig. 13. Plate I (facing p. 31) of STOBÆUS's «Opuscula» (1752). For explanation cf. the text. — Approximately 3/5 of the original size.

mus parasiticus caluarium hominis vtcunque referens qui vulgo Numulus Brattensburgensis dicitur» (STOBÆUS 1752, pp. 11–12), and which derived from Ivö (STOBÆUS's Tab. I, figs. 1–2), is *C. craniolaris* (LINNÉ); the other, from Ignaberga and mentioned as «Numulus minor rarissimus» (op. cit., p. 31; Tab. I, figs. 3–4), is *C. (Isocrania) ignabergensis* RETZIUS (fig. 13). BROMELL, who had earlier obtained specimens of them through STOBÆUS, had expressed the opinion that *Crania* were the operculum of a shell which, in a letter (1727), he advised STOBÆUS to look for in lake Ivösjön. The opinion is shared for the rest by LINNÉ considerably later. For instance, in 1758 (p. 700) he says about «*Anomia craniolaris*»: «Habitat in Scania ad Ifvö & Balsbergam, non dum viva reperta.» No «fossilis» — as otherwise in the case of extinct forms — is

of them (reproduced in Tab. I, fig. 7) (our fig. 13) was found by J. C. MOBERG in the collections of the Geological Institution of Lund University and is now kept there as one of the few identified palaeontological objects from STOBÆUS's »Promptuarium rerum naturalium».¹ STOBÆUS refers to a number of earlier works, i. a. to »Museum Wormianum» (1655), in which WORM reproduces the ammonite in question and speaks of it as »skeleton serpentis». The original is said to be from Scania and to be embedded in grey sandstone. MOBERG (1885, p. 21) thinks it probable that it originated from Köpinge.

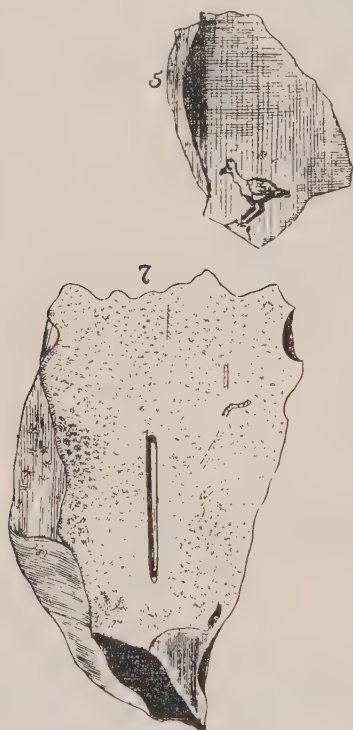


Fig. 14. Section of plate III (facing p. 107) of STOBÆUS's »Opuscula» (1752). For explanation cf. the text. — Somewhat reduced from the original size.

Belemnites.



Fig. 15. *Actinocamax mammillatus* (NILSSON), fig. on p. 126 of STOBÆUS's »Opuscula» (1752). — Approximately 4/5 of the original size.

A number of other fossils are touched upon in passing.

Work no. 3 in »Opuscula» bears the title »Historia naturalis dendritae lapidumque cognatorum. Scripta A. 1734».² In it STOBÆUS gives a not unsatisfactory explanation of the origin of the dendrites and reproduces a large number of them. We find there also the oldest — as far as the present author can find — statement about fossil-bearing strata at Fågelsång to the east of Lund. On p. 106 is to be read: »In Paroecia Hardeberga ad Villam Fågelsång olim in vsus militares erutos fuisse py-

¹ Concerning »Museum Stobæanum», see HILDEBRAND (1934) and BERLIN (1935).

² Refers to a thesis of the same name (1734). A similar subject had already been dealt with, although briefly, by STOBÆUS in 1730.

ritas, res quidem est notissima. Hi tanquam glandulae inhaerent lapidi fissili nigro, variis rerum marinarum, *pectinum* sc. *Chamarum* & praecipue *acuum marinarum minimarum* vestigiis insigni». The reference in this passage is obviously to graptolites and possibly to *Onniella* («*Orthis*») *argentea* (HISINGER) («*pectini* sc. *Chamaris*»). Fig. 7 in Tab. III (our fig. 14) would seem to reproduce a piece of graptolite shale, even though the rock is spoken of by STOBÆUS as «silex», i. e. flint, from Rosendal in the parish of Kropp, Scania. In any case it was a matter of a loose stone, as the site of the find is within the Rhaetic-Liassic area. The largest of the supposed graptolites is characterized as «Radioli oblongi & striati vestigium» (STOBÆUS 1752, p. 110). From the same district came the original of fig. 5 in the same plate (our fig. 14), «Silex seu pyromachus vulgaris auiculae figura insignitus» (op. cit., p. 109). The otherwise dispassionate and discerning research worker has there given free rein to his imagination in the reproduction of the original specimen. It is not easy to decide whether it is a dendrite or possibly some fossil that has taken on the shape of a meticulously drawn little bird.

In a paper written in 1738, «Cervinii betvliqve lapides» («Opuscula» IV), STOBÆUS disproves the superstitious idea inherited from olden times about certain peculiarly shaped stones, fossils, and Stone Age implements, as being «thunderbolts», «cervinii» (Swedish: åskviggår) hurled down by lightning. Fairly good pictures are given of an «*Echinites*», which seems to be a species of *Echinocorys* (STOBÆUS 1752, p. 119), further of a «*Glossopetra*», i. e. a tooth of a *Carcharodon* (p. 122)¹, «*Belemnites*», very clearly *Actinocamax mamillatus* (NILSSON) (p. 126) (fig. 15), «*Astroites maior*», most closely resembling a *Stauria*, and «*Astroites minor*», probably a *Heliolites* (both on p. 129). Quite naturally STOBÆUS was not always able to place these fossils quite adequately within the zoological system.

STOBÆUS's last geological work is «Monvmenta dilvvi universalis ex historia naturali. A. 1741» («Opuscula» VII). In this, partly with the help of a large body of literature, he has collected data to prove that there was a universal deluge. In this connexion a good many fossils are mentioned. In the three plates accompanying the paper are reproduced shells of *Balanus* from the shell beds near Uddevalla (Tab. XV), a piece of fossilized wood from Vallkärra, north of Lund (Tab. XVI), and a ramified colony of corals, obviously a Favositidae, from Bjärsjölagård in Scania (Tab. XVII).²

8. Linné

It is well known that STOBÆUS gave strong impulses to the student LINNÆUS, who lived in his house at Lund, was allowed freely to use the library and collections, and received «instruction on all Petrifications and Molluscs» (AFZELIUS 1823, pp.

¹ Glossopetrae were mentioned already by authors of antiquity and were believed to have fallen down from the heavens. Their similarity to the teeth of certain sharks was observed as early as 1565 by CONRAD GESNER (ADAMS 1938, pp. 113—115).

² The explanation of the plates («Opuscula», p. 328) is as follows:

«Tab. XV. Tulipae testaceae fossilis, seu Balani marini maioris fossilis, ex monte quodam prope Vddevallam in Praefectura Bahusiensi, nec non testarum separatarum, e quibus componitur, ibidem reperiundarum delineationem exhibet.

Tab. XVI. Lithoxilon seu Lignum petrefactum non inelegans, in vicinia huius loco paludoso, ad pagum Walkieria inuentum, repraesentat.

Tab. XVII. Madreporam fossilem Loricatam siue squamatim punctatam, e Latomiis Fersianis ad villam Bieroeds Ladugård erutam, ob oculos ponit.»

103—104; translated from the Swedish). From STOBÆUS's museum LINNÉ obtained some of his material for his first paper on the mineral kingdom, »Pluto Svecicus». The manuscript of this work, the title page of which is dated 2nd September 1734, was not published until 1907 (by C. BENEDICKS) and may to a certain extent be considered a preliminary work for »Regnum lapideum» in »Systema naturae», the first edition of which appeared in 1735 and made that year one of the most noteworthy in the annals of natural science. Even after more than two hundred years, it is still something of an experience to turn over the folio pages in the original edition, which on its twelve pages of text presents a tabular survey of the three natural kingdoms in accordance with the young author's »Methodus» for describing objects of nature presented on the last page in 38 points.

To posterity LINNÉ has come to stand out in the first place as the great re-creator within systematic botany, but one is right in asserting that his contributions in certain other fields of natural science alone would have been sufficient to place him in the van. In a paper (1751) PER WARGENTIN, the then secretary of the Swedish Academy of Science, says some words on the science of zoology, which could equally well be applied to geology and allied fields: »Such was the state of Zoology up to the year 1735 when Mr. LINNÆUS put it on quite a different footing with his Systema Naturae, then published for the first time, which he greatly increased and improved in the later editions and daily cultivates further» (WARGENTIN 1751, p. 87; translated from the Swedish).¹

However, to a certain extent it is perhaps to be considered an indication of a change of interest in LINNÉ that in the first and earlier editions of »Systema naturae», the »Regnum lapideum» is dealt with first, but in the later editions is placed in the last part of the work. In the case of palaeontology especially, this science, as being »useless», could not gain the unreserved approval of the 18th century utilitarian LINNÉ, as emerges from a passage in his series of lectures »Beskrifning öfwer Stenriket» (Description of the Stone Kingdom), which, like the corresponding part of »Systema naturae», builds on »Pluto Svecicus». In the notes made by JOHAN WALLMARK from LINNÉ's verbal presentation in 1747 or 1748 we read the following expression of opinion on the branch of science which has for its object »Petrificata»: »This science has enamoured curious people in Germany and is actually more curious than useful. They have made a great lot of trouble for themselves in setting up a genus for each petrification — —». »May be agreeable but of little use — —» (BENEDICKS 1907 b, p. 89; translated from the Swedish).²

It would carry us all too far to enter here into a detailed scrutiny of »Regnum lapideum» in »Systema naturae», however tempting the task may appear, as would also a comparison between the material in the first edition and in some of the later ones. Some short indications of the disposition of the material will not, however, be out of place.

Three main divisions are distinguished: Petrae or rocks, Mineræ or ores, and Fossilia or gravels. The latter are divided into Terræ or soils, Concreta or agglomerat-

¹ »Således hade sig Zoologien, in til år 1735, då H. LINNÆUS satte henne på helt andra fötter, genom Des då första gången utgifne Systema Naturae, hwilket han i de senare upplagorna mångfaldigt ökt och förbättrat, samt dageligen vidare upodlar.»

² »Denne wettenskapen har intagit de curieusea i Tyskland och är werkeligen mer curieus än nyttig. De hafwa giordt sig et stort hufwudbråk, at uprätta et genus för hwart och et petrificat — —.» »Kan wara artigt, men föga nyttigt — —.»

ions, and Petrificata or petrifications. The last-mentioned group comprises the following »genera»:

1. *Graptolithus*. Petrificatum pictura assimilians. 2. *Phytolithus*. Petrificatum vegetabilis. 3. *Helmintholithus*. Petrificatum vermis. 4. *Entomolithus*. Petrificatum insecti. 5. *Ichthyolithus*. Petrificatum piscis, among which *I. dentis charcharodon* or *Glossopetra* and *I. ovorum* or *Oolithus*, roe stone.¹ 6. *Amphibiolithus*. Petrificatum amphibii. 7. *Ornitholithus*. Petrificatum avis. 8. *Zoolithus*. Petrificatum quadrupedis.

Practically the same division is applied in the 12th edition of »Systema naturae» (1768), the last of the original editions, »every single word in the introduction to which, not to mention other things, is worthy of thought» (AFZELIUS 1823, p. 63; translated from the Swedish)². The order of sequence is reversed, however, and the number of »species» is considerably increased. Of the genus *Graptolithus* eight »species» are given: *mappalis*, *ruderalis*, *dendrites*, *fuciformis*, which are probably all

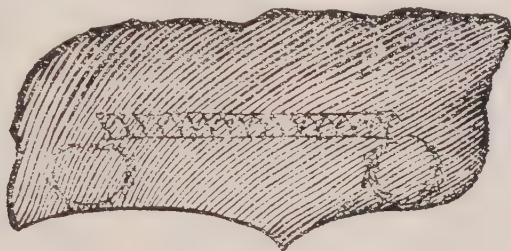


Fig. 16. Graptolite shale with *Climacograptus scalaris* (LINNÉ) and *Demirastrites triangulatus* (HARKNESS)? (from S. E. Scania), fig. on p. 147 of LINNÆUS's »Skånska resa» (1751). — Reproduced in the original size.

dendrites, *serpulites*, which has the shape of concentric circles attached to the shells of fossil oysters and other (mainly Cretaceous) lamellibranchs and other fossils, and which manifestly refers to so-called siliceous rings (Swedish: kiselringar)³, further, *sagittarius*, which cannot be identified (cf. TULLBERG 1882, p. 6; according to BULMAN 1946, p. 163, possibly refers to a fossil plant), *scalaris*, which is described and reproduced in a rude figure in LINNÉ's »Skånska Resa» (LINNÆUS 1751, p. 147), along with two curved Monograptidae (fig. 16), according to NATHORST (1907, p.

¹ It is strange that the oolite really was apprehended by LINNÉ, as well as by BROMELL, as petrified fish roe. On the other hand, J. G. WALLERIUS (1747, p. 330) maintained that the »Råm-Sten» — — »har sitt ursprung af jord[-] eller stenblandat vatten, som droppevis fallit i någon lös mjuk jord, hvarefter de runda dropparna först coagulerat och hårdnat, och sedan sjelfva jorden i hvilken de legat» (»Roe stone» — — »has its origin in water mixed with earth or stones, which fell drop by drop into some loose soft earth, after which the round drops first coagulated and hardened, and then the earth itself in which they lay»). BERGMAN (1773, p. 278) considered »Roe or pea stones» to be »hardly anything more than grains of sand, covered over with several calcareous coatings» (translated from the Swedish). In the 12th edition of »Systema naturae» the oolite is not found among the »Fossils». On the other hand, »Oolithus» is included in the group »Petrae. Calcariae. Marmor [Marbles]», and is explained as a purely mechanical formation (»Natum e Calce coalescente fluctibus maris rotundata», p. 43) and in the group »Fossilia. Concreta. Tophus» (p. 189). In the edition of »Systema naturae» mentioned »Glossopetra» has been transferred to »Amphibiolithus».

² »hwars introduction, att förtiga annat, är äfvertänkelig uti hwart enda ord».

³ In »Pluto Svecicus» (BENEDICKS 1907 a, p. 45) mentioned as »Grapt. annularis in testa ostreae. Concha anomia. Scan. Åhus» (cf. GERTZ 1928, p. 11).

68) (after TULLBERG 1882) probably *Monograptus triangulatus* (HARKNESS) (owing to a slip of the pen designated *M. triangularis* by NATHORST). *Graptolithus scalaris* refers to *Climacograptus scalaris*. The last species, *strobiloides*, is not a graptolite, and what has suggested the name is not clear. Thus we find there only one genuine graptolite, but the »species» of the first edition were all dendrites.¹ For the rest, in »Systema naturae» LINNÉ introduced a number of specific names for fossil forms which are still current.

¹ In »Pluto Svecicus» (BENEDICKS 1907 a, p. 45) »*Graptolithus*» comprises six forms, some of which undoubtedly refer to genuine graptolites, while in the lecture notes referred to previously (BENEDICKS 1907 b, pp. 89—90) the designation was used synonymously with dendrites. The inorganic nature of the formation in question is strongly stressed, and its origin is explained: »Detta genus är artigt til deras Faveur, som göra så mycket hufvudbråk af petrificater. Utomlands kan man få se stora cabinetter fulla med petrificater, som ej med fog kunna föras til följande genera. Skulle man då aldeles utesluta dem, änskönt de ej annat äro än *lusus naturae*, så droge man på sig alla d-ss älskares wrede. Genereras när vitriolwatnet går emellan Lamellerna på en chiffer, som spruckit, då der förut inkrupit någon växt eller diur och rutnat; ty då chistalliseras wattnet inuti och genom myllans tillhjälp förvandlas i en mörk Figur» («This genus supports those who puzzle their heads so much about fossils. Abroad can be seen large cabinets full of fossils which cannot justifiably be assigned to the following genera. If then one were to exclude them entirely, albeit they are nothing but *lusus naturae*, one would call down the wrath of all their lovers upon oneself. Are generated when the vitriol water runs between the layers in a shale which had cracked, where some plant or animal had previously crept in and decayed there; for then the water is crystallized inside and together with the mould is transformed into a dark Figure»).

With regard to the nature of the graptolites, strange ideas were long hold. WAHLENBERG (1818, p. 44), for example, speaks of »the small Orthoceratites, which have been called graptolites» (translated from the Swedish). He still retained the same conception in 1821 (WAHLENBERG 1821, p. 92; cf. BULMAN 1946, p. 163).

I, *Chonophyllum?* *patellatum* (SCHLOTHEIM 1820). II, »*Omphyma*» *turbinata* (LINNÉ 1761). III, »*Omphyma*» *turbinata verrucosa* (HISINGER 1831). IV, *Entelophyllum articulatum* (WAHLENBERG 1821)? V a—b, *Porpites porpitis* (LINNÉ 1767). VI, *Sarcinula organum* (LINNÉ 1758). VII, *Aulacophyllum mitratum* (HISINGER 1837). VIII, *Acervularia ananas singularis* LANG & SMITH 1927. IX, *Acervularia ananas ananas* (LINNÉ 1758). X, *Codonophyllum truncatum* (LINNÉ 1761). XI, *Strombodes stellaris* (LINNÉ 1758). XII, *Thamnopora lamellicornis* (LINDSTRÖM 1873)? XIII, »*Madrepora*» *flexuosa* LINNÉ 1758 (non SOLANDER & ELLIS 1786). XIV, *Coenites juniperinus* EICHWALD 1829. XV, *Cladopora seriata* HALL 1851? XVI, *Stauria favosa* (LINNÉ 1758). XVII, *Favosites gotlandicus forbesi* EDWARDS & HAIME 1851? XVIII, Indeterminable coral. XIX, *Flustra membranacea* (LINNÉ 1758) (recent bryozoan). XX, *Halysites catenularius* (LINNÉ 1767). XXI, *Favosites hisingeri* EDWARDS & HAIME 1851? XXII, *Aulopora* or *Syringopora* sp. (»*Tubipora*» *serpens* LINNÉ 1758, ex parte). XXIII, *Favosites fibrosus* GOLDFUSS 1829? XXIV, *Heliohites interstinctus* (LINNÉ 1767). XXV, *Chaetetes bowerbanki* EDWARDS & HAIME 1851? XXVI, *Aulopora* or *Syringopora* sp. (»*Tubipora*» *serpens* LINNÉ 1758, ex parte). XXVII, *Favosites gotlandicus gotlandicus* LAMARCK 1816. 1, *Sarcinula organum* (LINNÉ 1758). 2, *Acervularia ananas ananas* (LINNÉ 1758). 3, *Codonophyllum truncatum* (LINNÉ 1761). 4, *Strombodes stellaris* (LINNÉ 1758). 5, »*Madrepora*» *flexuosa* LINNÉ 1758 (non SOLANDER & ELLIS 1786).

The attribution of the figures is mainly in accordance with the list published by LINDSTRÖM (1895, pp. 640—641). The nomenclature has been brought up to date as far as possible. A few emendations of LINDSTRÖM's determinations are due to suggestion in LANG, SMITH & THOMAS (1940), or in other papers quoted in the Index mentioned.

It may be assumed that at least the bulk of the fossil material described in »*Corallia baltica*» was collected during LINNÉ's travel on Gotland in 1741 and reasonably mainly by one of his companions, F. ZIERVOGEL, who devoted a special interest in collecting fossils. The collections made by ZIERVOGEL on Gotland in 1741 seem later to have been handed over as a gift to Vetenskapssocieteten of Uppsala but are unfortunately lost now (cf. SERNANDER 1943, p. 51).

A reproduction of the plate in the original dissertation of 1745 is given by NATHORST (1907, pl. 1). As appears from a comparison, the individual figures show slight differences in the two editions and have been re-arranged on pl. 4 in »*Amoenitates academicae*».

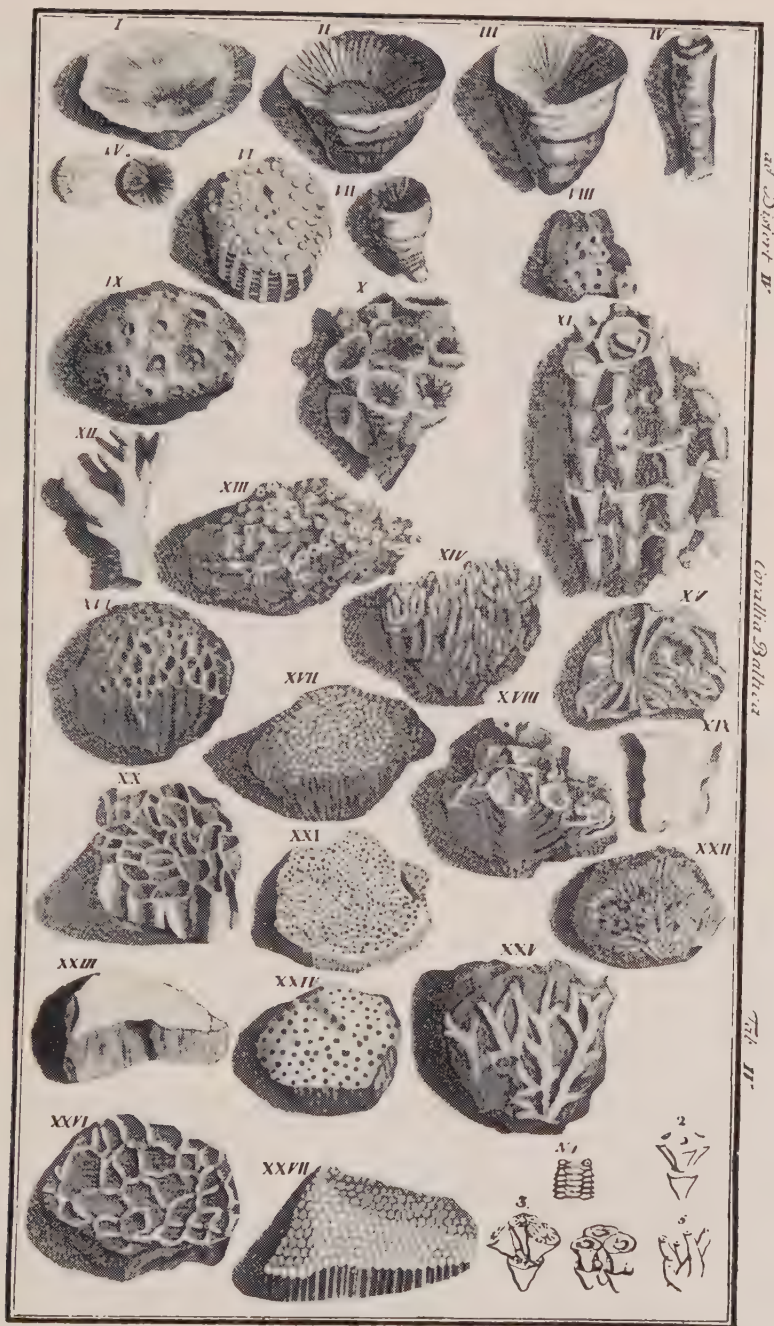


Fig. 17. The plate accompanying LINNAEUS's «Corallia baltica», the edition in «Amoenitates academicae», Holmiae & Lipsiae 1749. pl. 4 (facing p. 74). — Somewhat less than 1,2 of the original size. (Explanation of the plate on p. 34.)

As has been briefly pointed out earlier (p. 22), LINNÉ several times expressed the opinion that fossils would be found living in the sea adjoining the fossiliferous strata or the find-spot. On the other hand, he definitely and repeatedly rejected the Deluge theory, which was then fairly generally held. Let us see, for example, what is said in LINNÉ's previously mentioned »Beskrifning öfwer Stenriket»:

»They [the fossils] convince us, where they are found, that they were by no means products of the Deluge. Especially as no petrifying power of the latter can be proved. We often find shells and mussels among fossils which otherwise are not found except in the depths of the sea. Fossils are never found except where there is lime. They are not generated in such a way that the animal itself is turned into stone; but it is like an artist's casting mass in a form, which there leaves an impression of that which has been enclosed in it.

For when a body has been surrounded by lime, and the lime has hardened, the body gradually decomposes and leaves in the cavity, which is a real mould, a fine deposit. Then after the salt water has penetrated through the lime, the latter gradually coagulates into a stone, which is a true impression of the original itself. From this it follows that all petrifications are nothing more than impressions.

With regard to the man at Falun, he is not petrified but only preserved with vitriol; and as salt is dissolved by the air, so will he vanish in time» (BENEDICKS 1907 b, p. 89; translated from the Swedish).¹ »The man at Falun» is, of course, identical with the so-called Fat Mats (cf. above p. 16).

There exist only a few special works in palaeontology and geology from LINNÉ's hand. The most important of them is »Corallia baltica», published in 1745 as a dissertation with HENRICUS FOUGT (who drew the figures on the plate accompanying the paper) as the respondent. It contains descriptions and reproductions of twenty-five species of Silurian corals from Gotland, sixteen of which can be determined definitely and eight with hesitation, while one is undeterminable; further, there is a recent bryozoan (*Flustra membranacea*). LINDSTRÖM (1895) subjected the treatise to a critical scrutiny. About the importance of the »Corallia baltica», see also LANG in LANG, SMITH & THOMAS (1940, p. 8; see also p. 200). Cf. further the explanation of fig. 17.

In »Museum Tessinianum» (1753) quite a large number of fossils are dealt with, among them a fine specimen of *Entomolithus paradoxus* (now in the Mineralogical-Geological Museum, Copenhagen), later usually identified with *Paradoxides paradoxissimus* (WAHLENBERG) (= *P. tessini* BRONGNIART), but, according to WESTERGÅRD (1940, p. 7, note 1) diverging from the species mentioned. Of »vildmuslorna»², the brachiopods, it is said that they »are unknown to us as regards the creatures

¹ »De öfvertyga oss, hwar de finnas, at de ingalunda warit foster af syndaflo den. Hälst ingen petrification deraf kan bewisas. Wi finna ofta snäckor och musslor ibland petrificater hwilka annars ej finnas utan på diupaste hafsbötn. Petrificater finnas aldrig, utan der kalk är. De genereras ej på det sättet, att sielfwa diuret förwandlas i sten; utan dermed förhåller sig som med en konstnärns giutdeg uti en form, som der lemnar et aftryck af det som warit uti honom inneslutit.

Ty då en krop blifwit med kalk omgifwen, och kalken hårdnat, så rutnar kroppen effter hand, och lemnar i denna caviteten, som är en riktig form, en fin mylla. Då sedan saltwatnet kommit at tränga sig genom kalken, coaguleras myllan effter hand til en sten, som är et riktigt aftryck af sielfwa originalet. Här af följer at alle petrificater ej äro annat än idel aftryk.

Hwad karlen i Falun widkommer, så är han ej petrificerad utan allenast saltad med vitriol; och som salt solveras af luften, så förgår han ock med tiden.»

² The etymology of the word will probably be »villmusslor»: organisms misleadingly like mussels, »pseudo-mussels».

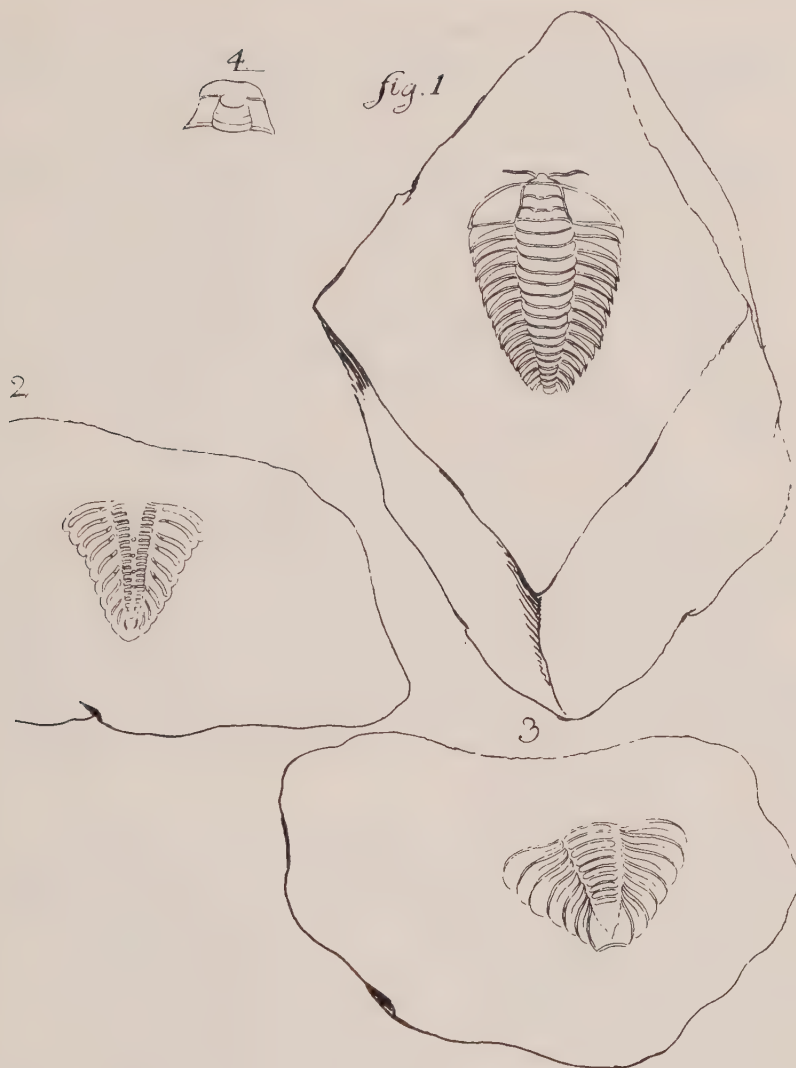


Fig. 18. Trilobites figured on pl. I accompanying LINNAEUS's »Petrificatet *Entomolithus Paradoxus*» (1759). Cf. the text. — Approximately 4/5 of the original size.

themselves and unchanged shell, so that we never find them in shell collections, and we do not know what in the world has become of them. But we never believe that any species has ever completely vanished from the earth» (quotation from NATHORST 1907, pp. 44—45; translated from the Swedish).¹

LINNÉ subjected the trilobites to special treatment in a paper published in Veten-

¹ »äro oss nu förtiden til sina kräk och oförändrade skahl, obekante, at vi aldrig finne dem i musle-Cabinetten och vete vi ej hvar de i verlden tagit vägen. Dock tro vi aldrig, at något slägte aldeles förgåts på jordklotet.»

skapsakademiens Handlingar (Proceedings of the Swedish Academy of Science) (1759) on »Petrificatet *Entomolithus paradoxus*». This is a collective name of LINNÉ's for all trilobites. In the paper is described and illustrated *Encrinurus punctatus* (BRÜNNICH) (Tab. 1, fig. 2)¹, further a species which is considered by DALMAN (1827, p. 78) to be *Calymene blumenbachi* BRONGNIART, but which in the opinion of the present author should rather be interpreted as a *Dalmanitina* or some other phacopid trilobite (Tab. 1, fig. 3), and a couple of olenids (Tab. 1, figs. 1 and 4; Tab. 2, fig. 1) (fig. 18).² Two complete specimens of the last mentioned are shown, and they are remarkable in that they are equipped with a pair of antennae. Whether LINNÉ really had before him specimens with these organs preserved, which were not definitely established in trilobites until much later, appears uncertain, and at one time gave rise to a controversy between S. L. TÖRNQUIST and C. E. BEECHER (cf. NATHORST 1907, p. 67). Part of LINNÉ's Tab. 1 is reproduced in our fig. 18.

In this connexion a statement may be cited — kindly sent by letter by Dr. N. ZENZÉN — from P. J. HJELM's catalogue (III, 1807, pp. 573—574) of the Council of Mines' (Bergskollegium) collection, running in extenso: »Billingen. Ulunda Rivulet. No. 8. Greenish-grey, dense, splintery, mixed with clay, horizontally bedded limestone with petrifications of Entomolites, their antennae, and clear ingrown calcite in spots and streaks, and rusty yellow weathering outside» (translated from the Swedish).³ The specimen referred to was probably handed over to the Palaeozoological Department of the Swedish State Museum of Natural History in Stockholm along with other fossils, where, however, they cannot be traced, and therefore the question as to what was the basis of HJELM's notes must be left unanswered.

A profusion of geological, stratigraphical, and palaeontological observations is contained in LINNÉ's descriptions of his journeys, from »Iter Laponicum» (1732, published 1889) to »Skånska Resa» (1751). The most important of them have been collocated in NATHORST's work »CARL VON LINNÉ såsom geolog» (1907), and therefore they can be passed here.⁴

LINNÉ published one single small geological paper, namely »Kinne-Kulle Aftagen i Profil och beskrifven af Volontairen vid Kongl. Fortificationen Herr Johan Svenson Lidholm» (1747), tallying with the corresponding description in »Wästgöta-Resa» of the same year. As appears from the title, the former paper is based upon investigations carried out, at LINNÉ's suggestion, by J. SVENSON LIDHOLM.

The Västergötland mountains had already been described earlier by KALM, whose famous »Wästgötha Och Bahusländska Resa» appeared in 1746, and by PETER SWEDBERG, who submitted to the Council of Mines a »Kort berättelse om det uti Wästergjötland belägne Billinge berget» (Sketch of the Billinge Mountain in Västergöthia), written in 1723 (published by NELSON 1915, p. 99 et seq.). On the other

¹ On LINNÉ's Tab. 1 the numbering of figures 2 and 3 has been reversed, so that the references in the text to fig. 2 really refer to fig. 3 and vice versa.

² According to TÖRNQUIST (1896 a, p. 142), fig. 1 on Tab. 1 represents *Parabolina spinulosa* (WAHLENBERG); however, it is not adduced by WESTERGÅRD (1922, p. 134; cf. also p. 7) in the list of synonyms for the species in question. According to DALMAN (1827, p. 97) the specimen in fig. 4 on LINNÉ's Tab. 1 is *Olenus gibbosus* (WAHLENBERG). In describing this species WESTERGÅRD (1922, p. 124) does not refer to LINNÉ's paper.

³ »Billingen. Ulunda Bäck. N. 8. Gröngrå, tät, splittrig, lerblandad, flolägrig Kalksten, med försteningar af Entomoliter, deras Antenner, och klar inväxt kalkspat i fläckar och strimor, samt gulrostig vitring utan på.»

⁴ In view of the existence of the work mentioned, LINNÉ has on the whole been dealt with quite summarily here.

hand, one searches in vain for information of a geological or topographical nature in B. ÖSTERPLAN's dissertation »De Kinna-Kulle» (1699; pres. J. ESBERG), which is chiefly devoted to etymological speculations.¹

9. Further contributions to palaeontology during the 18th century: Gyllenhaal, Modeer, and others

There still remain to be mentioned some palaeontological works by Swedish authors during the 18th century.

H. D. SPÖRING (Professor of Medicine at Åbo) contributed to the Proceedings of the Swedish Academy of Science (1745) a paper on »Ägg och Ungar af Sneckor och Musslor fundne i petrificerade Mussel-skal» (Eggs and Brood of Shells and Mussels found in petrified Mussel-shells). One may venture the presumption that the supposed embryos, which were examined under a microscope, were in reality foraminifers.

An invertebrate palaeontological study deserving of recognition is JOHAN ABRAHAM GYLLENHAAL's² »Beskrifning på de så kallade Crystall-äpplen och kalkbollar, såsom petreficerade Djur af *Echini* genus, eller dess närmaste släktingar» (A description of the so-called Crystal-apples and lime-balls, as petrified animals of the genus *Echinus*, or its nearest relatives) (1772), which contains extremely remarkable observations and reflections for that time. »For the sake of convenience as well as of conformity with the accepted manner of characterizing natural objects» (op. cit., p. 253; translated from the Swedish) two species are distinguished, *Echinospaerites aurantium* and *Sphaeronites pomum* (figs. 19–20) according to modern nomenclature, both assigned by GYLLENHAAL to the genus *Echinus*. »It is quite unknown in what seas these kinds of animals now live: But they undoubtedly live under fairly deep sea-water: For neither they, nor any of the multifarious species which are found petrified in association with them, are ever thrown up on the shores of the seas.

The petrified animals have undoubtedly both been brought forth, lived and died in the same place where their petrified remains are now found; For if the water had rolled the shells there, shingle and gravel of the same weight as theirs would have accompanied them: But the layers in which the lime balls have hitherto been found, consist entirely of a petrified fine silt» (op. cit., pp. 253–254; translated from the Swedish).³ Thus GYLLENHAAL shares with the majority of his contemporaries the conception that fossils are representatives of recent forms (cf. also REGNÉLL 1945, p. 1 seq.).

This paper was the only one from GYLLENHAAL's hand to be printed. However, GYLLENHAAL carried out extensive investigations of, inter alia, the Palaeozoic se-

¹ As so often in the case of earlier Swedish academic dissertations, it is somewhat uncertain whether the real author is respondent or president. In this case it appears most probable that the thesis was written by the respondent, who manifestly came from Österplana at Kinnekulle.

² In Vetenskapsakademiens Handlingar (1772) the spelling is GYLLENHAHL.

³ »Det är aldeles obekant, i hvilka haf desse slags djur nu för tiden uppehålla sig: Men utan tvifvel lefva de under ganska djupt hafs-vatten: Ty hvarken de sjelfva, eller någon af de mångfaldige arter, som finnas petrificerade i deras sällskap, upvråkas någonsin til hafsstränderne.

Utan tvifvel hafva de petrificerade djuren både alstrats, lefvat och dödt på samma ställen, där deras förstenade lämningar nu finnas: Ty om vattnet hade rullat dit skalén, skulle äfven klappur och grus, af samma tyngd som de, hafva följt med: Men hvarfven, hvaruti kalkbollar hittills funnits, bestå hele och hållne af et förstenat fint slam.»

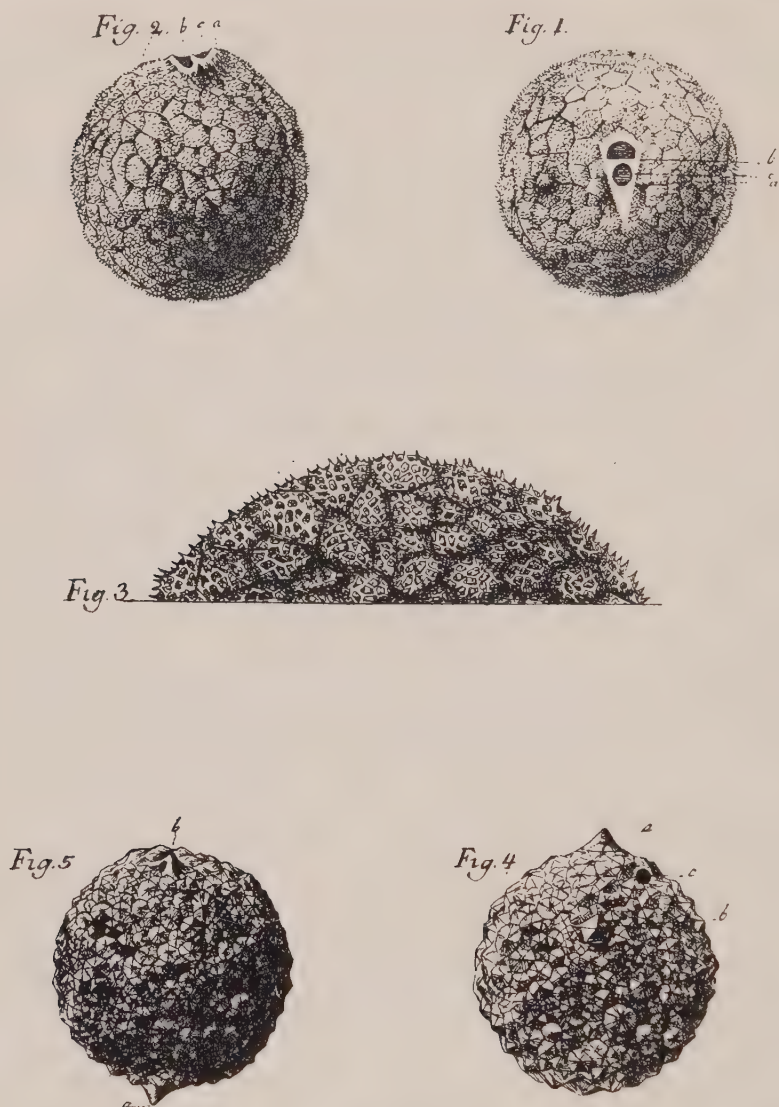


Fig. 19. Pl. 8 accompanying GYLLENHAAL's paper of 1772. 1—3, *Sphaerionites pomum* (GYLLENHAAL). 4—5, *Echinospaerites aurantium* (GYLLENHAAL). — Slightly reduced from the original size.

ries of strata of Närke and Östergötland, collocated in a comprehensive manuscript which is now preserved in the Swedish State archives (see ZENZÉN 1920, p. 47; cf. also SERNANDER 1943, p. 42 et seq.). Cf. also below, p. 53, foot-note 2.

It deserves mentioning that GYLLENHAAL's interest in fossils was roused already during his school-days at Skara in Vestergötland. It is not unreasonable to suggest — as thinks SERNANDER (1943, p. 19 et seq.) — that his knowledge of the fossils

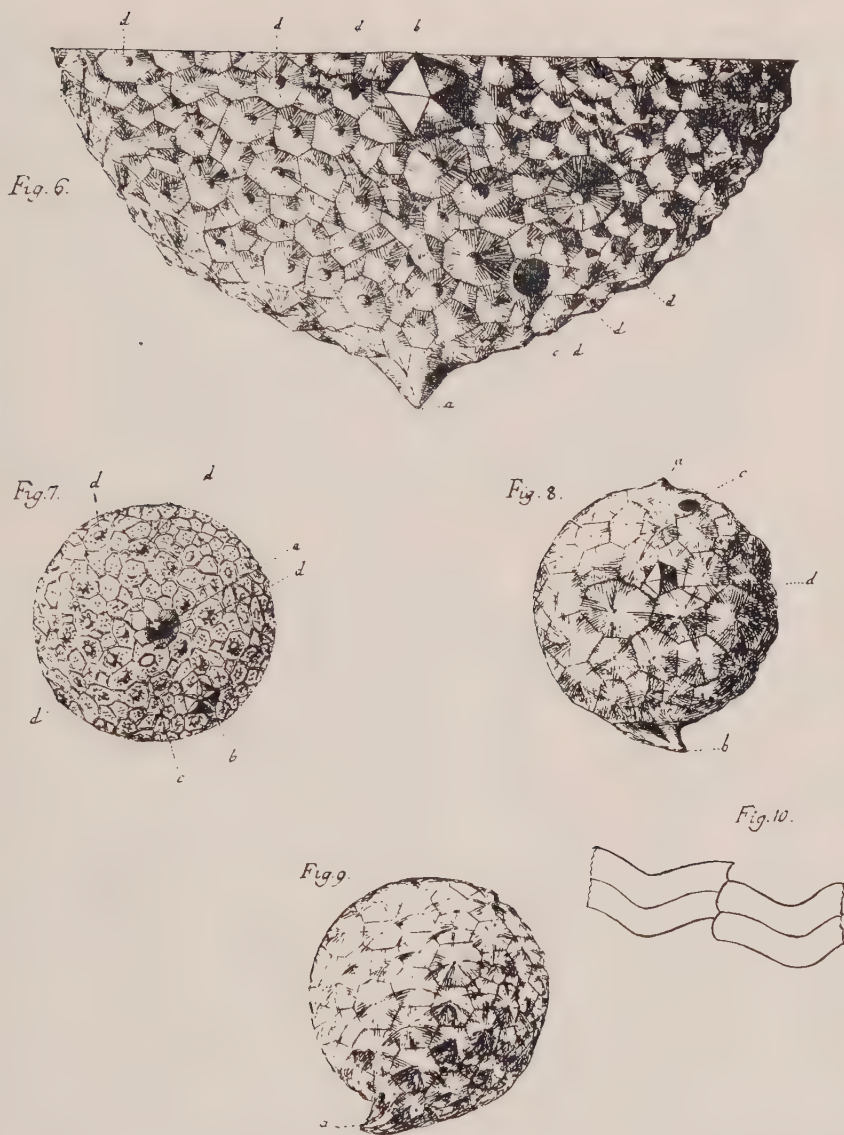


Fig. 20. Pl. 9 accompanying GYLLENHAAL's paper of 1772. 6—9, *Echinosphaerites aurantium* (GYLLENHAAL). 10, «Major plates of a foreign echinit». — Slightly reduced from the original size.

found at his native place was to no small extent promoted by studies in the collections at the Skara gymnasium. These had been brought together by the learned philologist SVEN HOF, who was also well informed in a variety of natural sciences. Inter alia, HOF had collected the large specimen of «*Entomolithus paradoxus*» described by LINNÉ in «Museum Tessenianum» (1753).

ADOLPH MODEER, who is chiefly known as a writer on matters concerning econom-

ics and agriculture, and in bad repute as a numismatist (HILDEBRAND 1937, p. 109), also published works on natural science. Among them we are interested in the first place in »Anmerkungen über einige Nerkische Versteinerungen» (1785 b), in which a number of remains of trilobites are described, with figures that are not particularly true to nature (our fig. 21). Figs. 1—2 in Tab. II represent some species of *Agnostus* (according to DALMAN 1827, p. 19, »*Battus pisiformis*»). »LINNÉ glaubte, dass diese Versteinerungen der Figur eines Cantharidis gleich käme, welches ich nicht finde. Sie scheinen die allergrösste Aehnlichkeit mit den Indianischen Cassidis zu haben, denn die Fig. 1 zeigt erstens deutlich die eingebogene und an den Leib schliessende Elythra (vergl. Fig. 2), und zweitens mit dem *angulo antico prominente* versehen den kein anderes Insekt als die Cassidae haben (vergl. Fig. 4. 12). Was in dieser Fig. 1 den Kopf vorstellet, ist nichts anders als der Hals worauf der Thorax mit seinem Clypeo ruhet und sich bewegt, welcher nun verlohren gegangen, wovon ich aber doch sehr selten und minder deutlich eine Anzeige gefunden habe. Die Fig. 2 zeigt die Elytra in der möglichsten Helle, mit seiner *Sutur* und *Scutello* oder *puncto Scutelli*. Aber der äusserst gezeichnete Rand soll allein die *deflexionem marginis Elytrorum* bedeuten, wie aus dem Durchschnitt an der Mitte des Körpers Fig. 2 zu erkennen ist» (MODEER 1785 b, pp. 248—249; unretouched, as are also all subsequent quotations from MODEER).

Further, a complete specimen of an Olenidae and various parts of others are reproduced, and they are more or less fantastically interpreted: »Die 3 Figur [a cranidium, twisted a half-turn in relation to the correct orientation] ist ein Abdruck in Schweinstein von der untern, und die 4 Figur [a free cheek, twisted 1/4 turn] von der obren Seite, auf gleiche Weise wie oben gesagt, von einer andern Cassida [according to DALMAN 1827, p. 97, = *Olenus gibbosus* (WAHLENBERG)]. Am Leibe und an der untern Seite werden vier schräg gestellte Eindrücke vorkommen, welche ohnfehlbar von den vier hintersten Schenkeln entstanden, und der oberste gerade Eindruck wird wohl der Unterschied zwischen dem Bruststück und dem Körper seyn. Die Fig. 4 stellet genau und richtig die Oberseite deren Elytrorum vor, die gemeiniglich sehr ordentlich chagriniert sind (*punctato-scabra*). Man siehet auch die gewöhnliche Ausschneidung des Scutelli» (op. cit., pp. 250—251).

The following expression of opinion is given in connexion with the complete specimen in fig. 7 [according to DALMAN 1827, p. 98, possibly = *Peltura scarabaeoides* (WAHLENBERG)]: »aber ich wage kaum die Vermuthung, zu welchem Geschlecht unter den Lebendigen diese ganz deutlich abgedruckte Thier gehören möchte. Keine *Anomia*, kein *Chiton*, denn wie könnte wohl der weiche Leib, Fuss und Mantel derselben in dem Stein sich ausdrücken? Auch kann es nicht der *Monokulus* [= *Daphnia* or related forms, as conceived by LINNÉ 1758, pp. 634—635; *Monoculus* was also used occasionally as a designation of trilobites] seyn; es wäre denn ein *Oniscus*, oder ein Geschlecht, dass dem *Onisco* am nächsten käme, aber bis jetzt noch unbekannt ist» (op. cit., pp. 253—254; agrees mainly with the discussion presented by LINNÉ in 1759, p. 23; cf. also DALMAN 1827, p. 19 et seq.).

Concerning an object reproduced in MODEER's Tab. II as figs. 9 and 10, the possibility is advanced that it is »ein Ruin eines *Echini*» (op. cit., p. 255). It will probably have been a concretion with radiating calcite crystals.

As regards his idea of the origin of fossils, MODEER is clearly influenced in certain respects by KALM (cf. above, p. 4 and also p. 22): »Gemeiniglich hat man sich vorgestellt, dass die originalen der Versteinerungen nicht Weit zu suchen wären, das[s]

Tab. II.

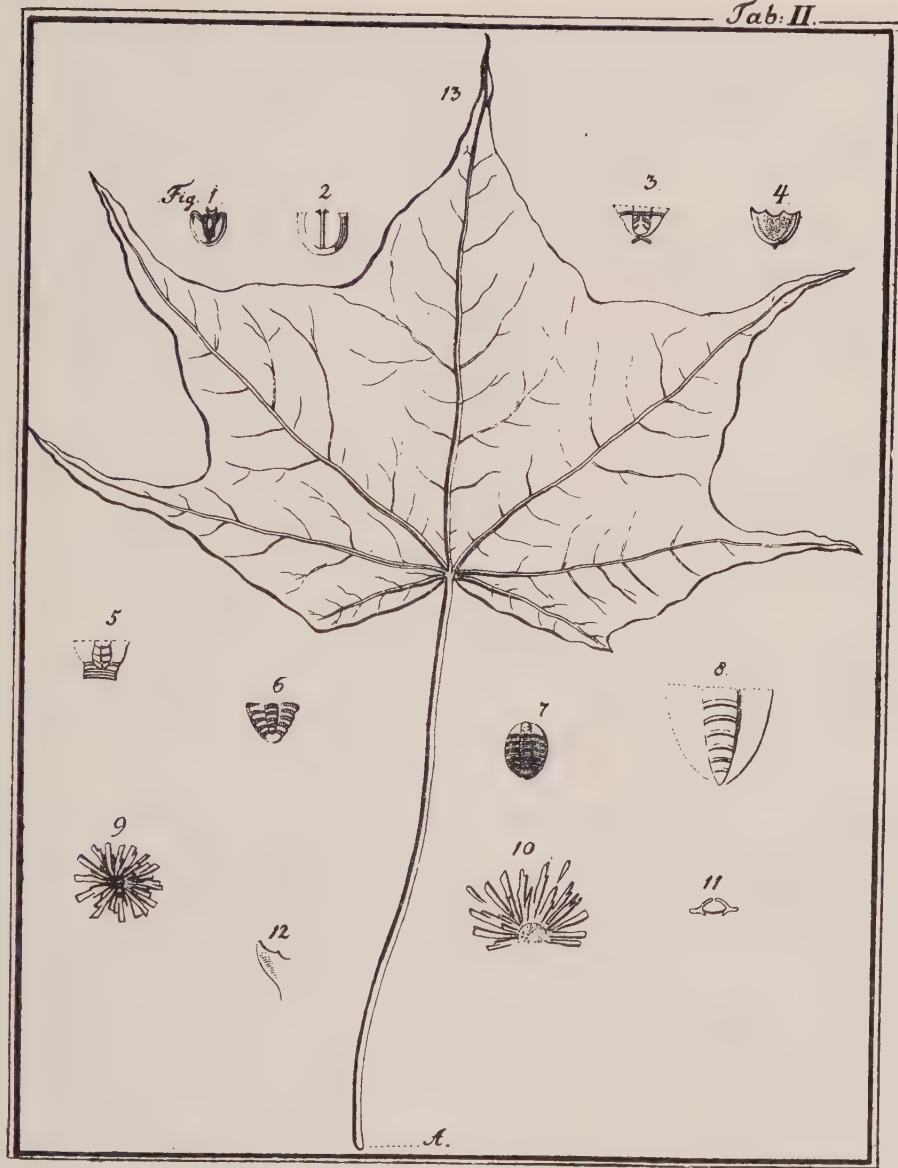


Fig. 21. Pl. II accompanying MODEER's »Anmerkungen über einige Nerkische Versteinerungen» (1785). For explanation cf. the text. (Fig. 13 does of course not belong to MODEER's paper, nor does fig. 11, although in the heading it is said to do so). — Somewhat more than $\frac{3}{5}$ of the original size.

z. B. das Original des *Nautili orthocerae* in der Ostsee zu Hause sein sollte (cf. the quotation on p. 23 from LINNÉ'S »Öländska och Gothländska Resa«); aber man hat wohl dabey sich sehr betrogen. Von den auf demselbigen *Nautilo* angewachsenen Versteinerungen, als *Lepadibus quibusdam* und *Asteriae minutae* gleichenden [probably refers to disks of attachment of pelmatozoans], die gar nicht in der Ostsee sich befinden, ist deutlich zu schliessen, dass die *Nautili in originali* in der Ferne zu suchen sind. Hierzu kömmt noch, dass man nicht selten bey den Norwegischen Küsten Indianische Früchte *ec.* angetroffen, wie in der Norwegischen Gesellschaft Schriften zu lesen, auch dass man zuweilen verschiedene Insekten und Heuschreckenzüge aus andern Welttheilen gesehen hat. So mag wohl ehemahls ein grosser Orkan oder eine andere ausserordentliche Begebenheit in der Natur eine unzählbaren Menge Indianischer Cassiden hierher gebracht haben, welche in den ausgetrockneten Europäischen Morästen verhärtet und versteinert sind, warum sollten denn da nicht sowohl Wasser- als Landthiere an einen und denselben Ort zusammengekommen seyn? Jene sind früher in der Versteinerungslage gewesen, und diese sind hernach von ohngefähr hinzugekommen» (op. cit., pp. 249—250). Cf. also p. 45 below.

In the Proceedings of the Swedish Academy of Science (1788) MODEER dealt in a monograph with »Släktet Pipmask, *Tubipora*», including in this heterogeneous »genus» also a couple of fossil forms.¹ The latter may be adduced here.

By »Stjern-Pipmask (*Tubipora stellata*)» (MODEER 1788, p. 230, Tab. VII, fig. 1) should be understood, according to LINDSTRÖM (1895, p. 632 and elsewhere), *Sarcinula* (»*Syringophyllum*») *organum* (LINNÉ), while »Knipp-Pipmask (*Tubipora fascicularis*)» (op. cit., p. 241), as also »Kast-Pipmask (*Tubipora strues*)» (op. cit., p. 247) is a *Syringopora* or *Aulopora*, a »Pipmask-rör» (Tubeworm-tube) which »is found petrified on the shores of Gotland, and also here and there in the limestone rocks in the same place» (op. cit., p. 242; translated from the Swedish). »Kryp-Pipmask (*Tubipora serpens*)» (op. cit., p. 243, Tab. VII, fig. 3) is an *Aulopora*. Fig. 3 a—d, which

¹ It must be remembered that, in conformity with the delimitation given by LINNÉ in »Systema naturae», the conception »worms» or »worm creatures» (Swedish: »maskkräk») covered an entirely different field then from what it does now: »Under namn af Maskar, förstår man väl i allmänhet både de til *Maskkräken* (Vermes) egenteligen hörande och hvarom här skal handlas, som och Yrfä-larver eller Skräpukar (Insectorum Larvae l. Erucae) hvilka ännu icke blifvit utvuxna eller förvandlade til fullkomliga yrfä, men dessa höra aldeles icke hit. Til en skilnad ifrån desse sistnämde Maskar, har man altså velat kalla de förstnämde *Maskkräk*, såsom fullkomliga kräk eller kreatur, hvilke framfödas i deras förblifvande skapnad utan att undergå någon förvandling. Man har någon gång kallat dem Skridfä, som också kunde antagas, om icke namnet *Maskkräk*, såsom mera känt eller brukadt, gäfvé mera begrepp om dem: ej at förtiga det namnet *Skridfä* äfven är lämpeligt til förberörde larver, ormar m. m., och således tvetydigt.» — — »Vi säge altså, at *Maskkräk* äro sådana, som äro blöte, utvidgelige, vätskefulle, ofotade, utan eller med *Trefvare: nakne*, eller omgifne med någon särskildt sig tilhörig *Betäckning*» (»Under the name of Worms is understood in general both those really belonging to the *Worm Creatures* (Vermes), and which will be dealt with here, and the larvae of flying creatures or caterpillars (Insectorum Larvae or Erucae) which are not yet developed or changed into perfect flying creatures, but these by no means belong here. Thus to distinguish these last-mentioned Worms it has been suggested to call the former *Worm Creatures*, as mature creeping things or creatures, which are brought forth in their future shape without undergoing any changes. They have sometimes been called »Creeping Creatures», which could also have been accepted, had not the name »Worm Creatures», as being better known or used, given more idea of them: not forgetting that the name »Creeping Creature» is also applicable to the above-mentioned larvae, snakes, etc., and is thus ambiguous. — — We thus should say that *Worm Creatures* are such as are *soft-bodied, capable of extending themselves, full of fluid, footless, without or with tentacles: naked or surrounded by some covering specially belonging to them*») (MODEER 1792, pp. 5—6). Thus a very large number of extremely heterogeneous invertebrates are included.

is said to show »the shell-dwelling in its simple appearance rarely met with of this Tube-worm» (op. cit., p. 245; translated from the Swedish), seems possibly to be a *Cornulites*. About »Kädje-Pipmask (*Tubipora catenularia*)» it is said: »On the shores of Gotland this petrified Tube-worm is thrown up, often in fairly large pieces, nay, even in enormous masses. It very much resembles the Kädje-Corall (*Madrep. catenul.*), which ought to be described in its place, and they have also been confused; but the 'Kädje-Pipmask' has very much longer labyrinths, walls closer to each other and often packed together, and is chiefly distinguished by having no stellate openings» (op. cit., pp. 248—249; translated from the Swedish).¹ In spite of the alleged difference the »Kädje-Pipmask» is certainly identical with the »Kädje-Corall», *Halysites*.

A couple of years later MODEER published a similar, fairly lengthy survey of »Släktet Rörkamring, *Orthocera*» (1796).

The following diagnosis of the »genus» in question was made: »The shell free, tube-shaped, narrowing downwards, equipped with dissepiments, usually straight, in certain forms bent like a spring at the back; inside divided by dissepiments as though in storeys one above the other, through which runs a pipe. The creature [i. e. the soft parts of the animal] is still practically unknown» (MODEER 1796, p. 66; translated from the Swedish).² »A great many and the largest of this genus are petrified; most of the other species which have been found in the natural state or non-petrified are usually so small that they are hardly visible to the naked eye» (op. cit., p. 72; translated from the Swedish). The last-mentioned group consists, inter alia, of foraminifers.³

Among the fossil forms are described several kinds of orthoceratites: »Strim-Rörkamring (*Orthocera striata*)» »Has not yet been found in its natural state, but only petrified, met with almost more in the red than in the grey marble or limestone, especially on Öland and at Kinne-kulle» (op. cit., p. 73; translated from the Swedish). »On some there are smaller and larger exterior protuberances here and there, which resemble 'Skäggekoppor' (*Balanus*) [undoubtedly these are disks of attachment of pelmatozoans; cf. above, p. 44], also, though rarely, some which resemble the so-called *Asterias minuta*. There is more reason to conclude from these parasites that the natural 'Strim-Rörkamringar' are not found in the Baltic, but probably in the lowest depths of the North Sea» (op. cit., p. 77; translated from the Swedish⁴; cf. LINNÉ's similar opinion reproduced on p. 23 above). The siphuncle is assumed to be »a smaller 'Rör-kamring' which has accidentally been forced in there» (»en mindre Rör-kamring, som vådeligen blifvit dit inträngd») (l. c.).

¹ »Vid de Gothländske strander finnes denne stenvandlade Pipmask upvräkt, ofta i ganska stora stycken, ja väl ofanteliga massor. Mycket liknar den Kädje-Corallen (*Madrep. catenul.*) som på sitt rum bör beskrifvas, och man har äfven hopblandat dem; men Kädje-Pipmasken har mycket långsträcktare irrångar, tätare tilhopastående och ofta tilsammanpackade väggar, samt är hufvudsakeligen därigenom skild at den har inga stjernlika öppningar.»

² »Skalet oavvuxit, rörformigt, utföre afsmalnadt, med ledskilnader förseddt, merändels rakt, på några bakefter fjäderlikt inkrökt; invändigt med botnar afdelt, liksom i våningar den ena öfver den andra, genom hvilka en pipa går. Kräket är ännu så godt som aldeles obekant.»

³ The Foraminifera were apprehended by authors earlier than or contemporary with MODEER, such as BREYN, SOLDANI, FICHEL & MOLL, and also by later ones, e. g. d'ORBIGNY, as molluscs and were called »Cephalopoda foraminifera», as distinct from »Cephalopoda siphonifera». The majority of species of *Nautilus* described by LINNÉ (1758, p. 709 et seq.) are foraminifers, as are also the forms belonging to *Orthocera* LAMARCK (cf. TROEDSSON 1931, p. 9).

⁴ »På en del finnas utantill här och där mindre och större uphöjningar, som likna Skäggekoppor (*Balanus*), äfven fast sällan de som likna den så kallade *Asterias minuta*. Af dessa snyltgäster är det mera anledning sluta, at de naturliga Strim-Rörkamringar icke finnas i Östersjön, men väl i de djupaste Norrsjöns afgrunder.»

Further, mention is made of »Våg-Rörkamring (*Orthocera undata*)», »Löf-Rörkamring (*Orthocera frondosa*)» [= *Baculites* sp., from Maastricht and other localities; »Krus-Rörkamring (*Orthocera crispata*)» belongs to the same genus], »Får-Rörkamring (*Orthocera sulcata*)», »Klo-Rörkamring (*Orthocera adunca*)», the last-mentioned »a Gotland petrification in the grey shaly limestone» with the »shell somewhat roller-like-cone-shaped and a little bent at the end, the joints almost unnoticeable; the tube generally running through the middle» (= *Cyrtoceras*) (op. cit., p. 150; translated from the Swedish), »Krok-Rörkamring (*Orthocera recurvata*)», which is a form from Normandy with the »shell long-round [i. e. oval] and the end curved backward, the articulations low, the joints raised and oblique» (= *Scaphites* sp.) (op. cit., p. 151; translated from the Swedish) and, finally, »Kryck-Rörkamring (*Orthocera lituus*)» (= *Lituus* sp.). »Kryck-Rörkamringarna» are said »to have the same burial places as the »Strim-Rörkamringar», which they most resemble, except that the lower, or narrow end is bent in in a flat coil of 2 to 3 turns, which are generally not — and certainly never in the natural or living state — connected with each other or joined to each other, but clearly separated. »Kryck-Rörkamringar» are also infinitely rarer than »Strim-Rörkamringar» (op. cit., p. 153; translated from the Swedish).¹

We cannot discuss here the »natural» or recent »Rörkamringar».

MODEER's last palaeontological work was probably a paper in the Proceedings of the Swedish Academy of Science (1797), »Uptäckt angående Blankenburger Schraubenstein med platta Skifwor och runda Pipor, varande *Tubipora Epitonium* eller Harp-Pipmask». Concerning this »strange petrification» »many had thought they could safely guess what it had been. With all his enlightenment, however, LINNAEUS did not venture to go so far; in the absence of more experience he called it simply [LINNÉ 1768, p. 170] *Helmintholithus Epitonium dissepimentis orbiculatis [distantibus] filo centrali connexis*» (MODEER 1797, p. 50; translated from the Swedish).² MODEER refers to the entirely correct interpretation given by certain German authors of such so-called »Schraubensteine», namely that they are moulds of crinoid stems showing the cast of the axial canal and the spaces between the individual columnals.³ He maintains, however, that no opinion »can be more unreasonable» (op. cit., p. 51) and refers the fossil to »*Tubipora*».

MODEER also published a handbook on the »Stone kingdom» referred to below, and a bibliographical work entitled »Bibliotheca Helminthologica» (1786), which contains, inter alia, references to several older authors dealing with various invertebrate fossils.

On the whole it must be said that there is a touch of dilettantism about MODEER's palaeontological writings. In view of the fact that this side of his activities as an

¹ »Kryck-Rörkamringarna» ha »fått lika Grafställen med Strim-Rörkamringarna, dem de i det aldranärmaste likna, undantagande at den nedra eller smala ändan är inkrökt i en platt vinding af 2 til 3 hvarf, hvilka gemenligen icke och väl aldrig i det naturliga eller lefvande tilståndet äro sammanhängande eller liggande vid hvarandra hopfogade, utan tydeligen åtskilda. Äfven äro Kryck-Rörkamringarna oändeligen sällsyntare än Strim-Rörkamringarna.»

² — — (hade) »många trodt sig med säkerhet kunna gissa til hvad den varit. LINNAEUS, med alt sit ljus, vågade dock ej så mycket: väntande mer erfarenhet, kallade han den blott *Helmintholithus Epitonium dissepimentis orbiculatis [distantibus] filo centrali connexis*».

³ According to WAHLENBERG (1821, p. 106) the name »Screwstones» (Swedish: Skrufstenar) is used for pseudo-morphoses from fragments of crinoid stems. The same author also gives another meaning of the word, for the inhabitants of Kinnekulle are said to refer to certain orthoceratites (or in many cases perhaps rather to the isolated siphuncle) as »Screwstones» (op. cit. p. 88, note).

author is probably relatively unknown, it has, however, been dealt with somewhat fully here.

As we have seen, on several occasions the brachiopod genus *Crania* had attracted the interest of the first Swedish palaeontologists. In a paper, »*Crania* oder Todtenkopfs-Muschel», printed in 1781 in »Schriften der Berlinischen Gesellschaft naturforschender Freunde», A. J. RETZIUS recurred to this subject. In the work mentioned a careful diagnosis is given of the genus and descriptions of *C. (Isocrania) ignabergensis* and *C. brattenburgensis* [i. e. *C. craniolaris* (LINNÉ)] and of a recent species from the waters off Manila in the Philippines.

Notices on Swedish fossils are found in several places in the writings of foreign authors but can be passed by here as being of no great interest as a rule. However, mention may be made of a work by NICOLAUS VON HIMSEL of Riga, »De rariore quadam Orthoceratitis specie, in Suecia reperta, tractatus» (1759), containing descriptions and figures of loose finds of a number of orthoceratites »in loco quodam Kelwika dicto, prope Fahlunam in Dahlia», i. e. Källviken near Falun in Dalecarlia (see TROEDSSON 1931, p. 9).

10. Treatment of fossils in the so-called »Mineralogiae»

The scholars of the 18th century generally made no real distinction between palaeontology and mineralogy. In the surveys of the mineral kingdom collocated by different Swedish authors more or less space was allotted to the »petrificata».

BROMELL's »Mineralogia» has already been mentioned, as has also the third part of LINNÉ's »Systema naturae» which deals with the »Regnum lapideum». Later came J. G. WALLERIUS's »Mineralogia, Eller Mineral-Riket, Indelt och beskrifvit» (1747; several editions abroad also), AXEL FREDRIK CRONSTEDT's anonymously published »Försök till en Mineralogie, eller Mineral Rikets Upställning» (1758; second edition 1781; translated into several languages), TORBERN BERGMAN's »Sciagraphia regni mineralis» (1782; in five years there appeared eight editions in four languages), MODEER's (anonymous) »Anledning til Stenrikets upställning på stadgade grunder» (1785; a second edition appeared in the same year), and A. J. RETZIUS's »Försök til Mineral-Rikets Upställning» (1795).

In WALLERIUS's »Mineralogia» »Stenvandlingar. Petrificata» are dealt with as the second part of »Fjerde Flokken» (The Fourth Group), which comprises »Stone in-durations» (Swedish: Stenhårdningar). With great erudition and thoroughness a systematic survey covering 65 pages is presented of »Petrified Plants», »Corals, Coralla, Stone plants» — which are evidently considered to occupy an intermediate position between the other two groups¹ — and »Petrified Animals».

¹ In his conception WALLERIUS concurs in the statement formulated by LINNÉ (in »Philosophia botanica», 1751) »Natura non facit saltus», but which had already been conceived earlier by the philosophers BACON OF VERULAM and LEIBNIZ. Thus WALLERIUS (1748, from »Förbere-delse») writes: »However, it also should be noted in this connexion that Nature in her division and placing of the borderlines of her realm as elsewhere, does not leave any gaps; but there are bodies which, as it were, are ambiguous between 2 and 2 of these realms of Nature, and are like means or something between, by means of which Nature gradually rises to its height from the one realm to the other. Thus it is found that the Natural mineral Liquids in a certain way belong to the Water kingdom, and will here below be included in our Water kingdom; but in a certain way they also belong to the Mineral kingdom; *Lithophyta* or Stone plants are dealt with in both the Vegetable and the Mineral kingdoms; *Zoophyta* or Plant animals are not widely different from other plants» (translated from the Swedish).

In the treatment of the petrified plants an express distinction is made between real fossils and pseudo-fossils: »These vegetable trace stones [Swedish: Spårstenar] are distinguished from real petrifications in that, firstly, petrifications generally constitute another body, differing in material and colour from the stone in which the petrification lies; on the other hand, these stones with tracings will sometimes differ in colour a little — but for the rest not at all — from the mass of the stone in which the figure appears, and secondly, petrifications are usually raised above the stone in which they lie, but these are more or less impressed». — »As these stones have not had their perfect figures impressed by mere chance, but owing to the fact that the plant was really lying in the rock when it was still soft, and thus left a perfect trace while the rock material hardened into stone, in the same way as one sees the impress of the shoe in stiff clay when one walks on it; owing to this fact they cannot readily be referred to stone freaks, but it has been necessary to give space to these trace stones, especially as they are sometimes included as »petrifications» by Lithographis» (WALLERIUS 1747, p. 337; translated from the Swedish).¹

Within the group »Petrified animals» the first place is given, as it should be, to »Fossilized Human Bodies», about which one learns, inter alia, that they »are easily recognized by their shape. At Aix in France a complete person was found petrified in a mountain in the year 1583; the brain was so hard that steel struck sparks against it; the bones were brittle» (op. cit., p. 356; translated from the Swedish).² WALLERIUS is more sceptical about the statement that »a whole troupe of Spanish horsemen who, in their march in the West Indies, were said to have been turned to stone»: »such Stories really require closer confirmation before they can be held probable» (l. c.; translated from the Swedish). A special paragraph is devoted to »Vitriolized Human Bodies». »An example is met with at Falun mine. There are no known specimens of vitriolized animals» (op. cit., p. 370; translated from the Swedish).³ Among »salted» animals are registered the find »of a hen, which with its eggs was found in a salt-mine, not petrified, as BACCUS says, but presumably indurated by salt» (l. c.; translated from the Swedish). The chapter contains a great many amusing items which, however, cannot be gone into here for reasons of space.

The question of how »Conchylia from the bottom of the sea and farthest from the East Indies, and ivory from elephants and similar things, have come far up on the mainland and on high mountains in Europe and in the North» (op. cit., p. 397; translated from the Swedish), is answered by »they may probably be deduced from the general Deluge. Particular inundations on low-lying places will also have contributed to some extent» (op. cit., p. 398; translated from the Swedish).

¹ »Desse vegetabiliska spårstenar skiljas ifrån rätta petrificater derutinnan 1) at petrificater constituera merendels en annan kropp, til materien och färgen skild ifrån den sten i hvilken petrificatet ligger; deremot desse spårstenar skiljas väl något litet til färgen ibland, men för öfrigt icke, ifrån den öfriga stenmassan i hvilken figuren sig visar 2) at petrificater merendels äro uphöjde öfver den sten i hvilken de ligga, men desse äro mer eller mindre intryckte.» — »Emedan desse stenar ej af någon pur händelse fåt sina intryckta fullkomliga figurer, utan deraf, at örten legat verkligen i sten-materien, då den ännu var mjuk, och således efter sig lemnat fullkomligt rum och spår, under det sten-materien til sten hårdnat, på samma sätt, som man i segt ler ser aftryck efter skon då man går; ty kunna de ej lätteligen föras til stengyckel, utan har man bort här lemna desse spårstenar rum, helst ock de af Lithographis äro ibland petrificater uptagne.»

² »Igenkännas lätt nog af skapnaden. Vid Aix i Frankrike fanns i et bärg en hel människa petrificerad år 1583; hjernan var så hård, at den tog eld mot stål; benen voro mjöre.»

³ »Exempel härpå finnes vid Fahlugrufva. Vitriolescerade oskälige djur är intet bekant exempel på.»

From the organic fossils are distinguished »Stone freaks. Figurata. *Lapides Heteromorphi. Lusus Naturae*. They are stones, which are found of a rare and curious and unstable figur in the Mineral kingdom, which resembles some plant or animal or something else» (l. c.; translated from the Swedish). A miscellaneous collection, from dendrites to stone axes and crocks, is included.

In his »Mineralogie», which in several respects is admirable, CRONSTEDT shows that he is in advance of the majority of his contemporaries, in that he draws a sharp border-line between the objects to be studied within mineralogy and those within palaeontology. Himself a mineralogist, he had no great interest in palaeontology. To collect fossils »can have no other motive than to learn to know the bodies in the animal and vegetable kingdom, which are not so easy to find, and thus it is the business of zoologists and botanists; for a mineralogist is satisfied with one specimen of each substance, which has assumed the guise of plants and animals, by which he can conclude at its origin. Whether corals are plants or worm dwellings¹ he leaves to others to decide, and at first receives them with great indifference when they have mouldered into chalk, become changed into spar, or something similar» (op. cit., 2nd edition, 1781, from the preface; translated from the Swedish).² CRONSTEDT's very compressed chapter on »Mineralia Larvata, vulgo Petrificata» is accordingly relegated to an appendix. That they are cited at all is explained to be »for the sake of household utility».

No fossils were listed in TORBERN BERGMAN's »Sciagraphia» (1782) but reference was made (p. 158) to the classification adopted by CRONSTEDT. BERGMAN, on the other hand, remained in no way indifferent to the study of fossils: »Absit, ut petrefactorum cognitionem sterilem parumque utilem putemus. Considerari namque et possunt, et debent, tamquam nummi memoriales [cf. quotation from BERGMAN 1766, p. 4 above], naturae manu depositi, in memoriam notabiliorum operationum in construendo telluris cortice, e quibus tempus et ordo artificii quodammodo dijudicari possunt, dum alia silent monumenta. Hi, ope genuinae interpretationis, suis locis natalibus de pristino superficiei statu, de vastissimo maris imperio et insequentibus vicissitudinibus nos instruunt» (p. 157).

In his handbook »Anledning til Stenrikets Upställning på Stadgade Grunder» MODEER (1785 a, p. 33) was aware of the fact that fossils should be classified in the same way as living organisms. His argument for this declaration was that more light was shed over the animal kingdom by such an arrangement, »because in the mineral kingdom there are many animals, which otherwise or not yet have been found in their natural state» (translated from the Swedish). The »Petrificata» form the 6th class (pp. 59—61) in his »Tentamen prodromi systematis regni mineralis». The section under consideration is largely an epitome of the corresponding part in LINNÉ's »Systema naturae» (1768).

¹ This two-thousand-year-old subject of contention was settled in 1753 by PEYSSONNEL in an account of a manuscript entitled »Traité de Corail, contenant les nouvelles découvertes qu'on a fait sur les Corail, les Pores, les Madreporés, Scharras, Lithophytens, Esponges & autres corps & productions que la mer fournit» (Philos. Trans. 47. London) where it was clearly proved that the corals belong to the animal kingdom (cf. ADAMS 1938, p. 132).

² — — »kan ej hafwa någon annan orsak, än att lära känna de Kroppar i Djur- och Växt-Riket, som wi icke så lätt igenfinna, och således blir det Zoologorum och Botanisters göromål; ty en Mineralogus har nog af et Exemplar af Hwardtera ämnet, som tagit an hamn af Växter och Djur, för Generations Historiens skull. Om Coraller äro växter eller matkebon lemnar han til andras afgörande, och tager dem först emot med mycken kallsinnighet, när de förmultnat til Krita, blifwit förvandlade til Spat eller dylikt.»

In 1787 P. A. GADD, Professor of Chemistry at the University of Åbo, published »Inledning Til Sten-Rikets Känning». The circumstance that fossils are not mentioned at all in this work is perhaps connected with the complete absence of pre-Quaternary, definitely fossil-bearing strata in Finland.

In his view as to the unsuitability of including fossils in a mineralogical system A. J. RETZIUS (1795) agrees with CRONSTEDT. »The study of them is a special and mixed science, or, more correctly, a branch of Physical Geography, for the understanding of which a knowledge of mineralogy is necessary. Following CRONSTEDT's example, I have therefore given in an appendix as much about them and Vulcanica as I believed to be important in mineralogical respects» (RETZIUS 1795, p. 24; translated from the Swedish). The classification of »Petrefacta» agrees on the whole with LINNÉ's arrangement in »Systema naturae».

11. The development of regional and stratigraphical geology in Sweden up to 1800: A. J. Retzius, Tilas, Hisinger, and others

LINNÉ is the most famous of the scientific travellers who gathered the first information about the regional geology of our country, but he was not the only one in Sweden. Other names have emerged in the above presentation (e. g. SWEDENBORG, 1719, p. 13 above), and some more will be given here.

To begin with our southernmost province, among the research workers in Scania we may mention H. H. VON LIEWEN,¹ who in the Proceedings of the Swedish Academy of Science (1752) gave a »Beskrifning På de under-jordiska gångarna uti Balsbärget eller den så kallade Fläske-grafven vid Råbelöf i Skåne» (A description of the subterraneous passages in the Balsberg mountain or the so-called Pork Cave at Råbelöv in Scania), further S. G. HERMELIN, who in the same periodical (1773) presented »Anmärkningar om Boserups Stenkols-Grufva, och de öfriga Stenkols-försök uti Skåne» (Notes on Boserup coal-mine and other coal prospecting in Scania) with geological, stratigraphical, and lithological observations, MICH. MALMSTRÖM, who in the first part of »Physiografiska Sällskapet's [i Lund] Handlingar» (1776) published »Mineralogisk beskrifning öfver Andrarums Alun-Skiffer-Brott» (A mineralogical description of the Alum-shale quarry at Andrarum), and finally, A. J. RETZIUS, with his »Anmärkningar vid Skånes Mineral-Historia» (Notes on the Mineral History of Scania), published the same year. From the last-mentioned work, which contains a good deal of information about the distribution of the sedimentary rocks within the province, some extracts may be given here:

»The limestone [at Balsberg] consists of an indescribable multitude of shell-fish, some whole and some crushed. All are marine animals, and no species conforms with those thrown up by the adjoining seas; but with those farthest away. I will only mention one remarkable example: As far as I know, the so-called 'Brattensborgs-penningar' (*Crania*) are not found anywhere except at Ifwö, Balsberg. Egnaberga, and one single shell in the sand at Hwitsköfle; no collector in Europe is said to have seen others than those found at these places. Who would then believe that the originals of them would have come from Manilla? Nevertheless it is so, and I first became aware of them on a piece of Coral picked up on the beach at Manilla» (cf. p. 47 above).

¹ In Vetenskapsakademiens Handlingar (1752) the spelling is LIWEN.

»In Balsberget there is said to be the largest supply of the so-called Wätteljus, or *Belemnites*, which exists anywhere, for they form the uppermost stratum — one span in thickness — of the limestone; underneath lies the limestone, as has been said before, consisting only of whole, broken and crushed shell fish, though by no means in confusion, but in defined strata, the largest of which consists of a multitude of *Ostræe diluvianæ*, which even among themselves are so varied that he who does not see a considerable collection of them at the same time would hardly believe that they were of the same species. In vain one searches among these for *Belemnites*, *Echinites*, or other kinds of bivalves [than *Ostrea diluviana*], they have their special strata separate from those mentioned; but, on the other hand, among themselves fairly well mingled. I am convinced that a complete description of the Petrifications from Balsberg would be a pleasure to devotees of Testaceology, but here it would take up too much space» (RETZIUS 1776, pp. 81–82; translated from the Swedish).

From Tykarp is reported (p. 83), *inter alia*, »the whole bottom of an *Echinus* which is more than a hand's-breadth in width» (translated from the Swedish), which may be noted as the specimen referred to, is still preserved in the museum of the Palaeontological institution at Lund University, where it is found in the collection of type specimens under the name of *Cardiaster(?) ignabergensis* SCHLÜTER 1897.

»At Bieröds Ladugård or, as it is generally called, Biärslagård in the district of Färs there is a limestone quarry close to the Manor House, which is said to have been worked for a considerable time. The place is low-lying, and the rock lies almost under the soil. It is stratified, and the strata are horizontal; the rock itself is very hard, grey, glittering, and full of fossils. Shell fish [this term might correspond fairly adequately to 'skalmaskar' of the Swedish original text] are extremely rare here; but, on the other hand, *Helmintholithus Entrochus* S.[ystema] N.[aturae] 18. T. 3 p. 168 [crinoids] abound. I have been assured that a petrified crayfish has also been found [the basis for this statement was probably a *Homalonotus*]; but I have not seen it. Large balls of *Millepora poris contiguus angulatis*; diaphragmatibus transversalibus plurimis. Amoen.[itates] Acad.[emicæ] [a collection of academical disputations under the presidency of LINNÉ, 1743—76] T. 1. p. 101. T[ab.] IV. f. 21¹ [*Favosites*], are met with here and there, which must be carefully looked for; for in the heat they explode with a strong report and may spoil the furnace» (RETZIUS 1776, pp. 84—85; translated from the Swedish). Several other occurrences of limestone and shale are indicated.

A notice of finds of Cretaceous fossils at »grop-qvarnen» (Grope-möllan) in the parish of Karup is given by FISCHERSTRÖM (1761, p. 270) in his »Anmärkningar om Södra-Halland» (Notes on the Southern part of Halland). According to BEXELL (1938, p. 342), the site is probably identical with the exposure of Cretaceous limestone south of the mill uncovered by Stensån.

HERMELIN contributed towards the knowledge of the Vestergötland Cambro-Silurian districts with »Rön och Försök, hörande til Mineral-Historien öfver Skaraborgs Län i Wästergötland» (Observations and Investigations relating to the Mineral History of Skaraborg County in Vestergötland) (1767), TORBERN BERGMAN² with »Anmärkningar om Vestgötha-Bergen» (Remarks on the Vestergötland Mountains) (1768), and W. HISINGER with »Minerographiska Anmärkningar öfver en del af Skaraborgs Län, i synnerhet Halle och Hunneberg» (Minerographical remarks on part of Skaraborg County, with special reference to Halle- and Hunneberg) (1797).

¹ Refers to »*Corallia baltica*» (cf. above, p. 35).

² In Vetenskapsakademiens Handlingar (1768) the spelling is BERGMANN.

The works mentioned are mainly of a stratigraphical-topographical nature. BERGMAN (op. cit., p. 330), however, also dwells a little upon the fossil contents of the alum-shales: »Around Hunneberg it [the alum-shale] is loosest, generally blackens the hands when it is touched, like black chalk. Some strata are full of sea creatures, others again are quite free of them. In this connexion it should be noted that the great *Entomolithus paradoxus*, which is described and drawn in Museum Tessinianum [LINNAEUS 1753], has been found in the shale quarry at Oltorp in the parish of Dimbo [cf. above, pp. 36, 41]. I have recently seen their equals in the geological collection of Count LAGERBERG, Provincial Governor» (translated from the Swedish).

In connexion with his journey in Vestergötland LINNÉ visited the shell-beds at Uddevalla in Bohuslän and (LINNAEUS 1747 a) dealt with their composition and indicated their marine origin. The paper in which OLAVUS BRUHN later (1764)¹ deals with the subject, gives but little information beyond LINNÉ's description. The discussion of different conceptions as to the origin of the fossils affords the greatest interest. BRUHN assumes that the shell-beds were formed during the Deluge, which caused the surface of the sea to rise. For him the authority of the Bible is unassailable, inasmuch as he thinks that the violent movements of the sea, which are the pre-condition for the accumulation of so much loose material, can only have occurred at the beginning of the Deluge, when the fountains of the deep were broken up, or at its finish, when Noah's ark rested on Mount Ararat: before that the ark had moved smoothly, and therefore, according to BRUHN, the shell-beds must have been formed at one or both of the times indicated.

On his retirement from the presidency of the Swedish Academy of Science DANIEL TILAS (miner and geologist, mentioned previously in another connexion, p. 2) held a speech on 6th February 1765 entitled »Utkast til Sveriges Mineral-Historia» (A sketch of the Mineral History of Sweden) (reprinted in the same year), and then gave the first survey of the regional geology of Sweden. The work was intended chiefly as an inventory of the supplies of minerals, ores, and species of rocks of the Swedish provinces. However, there is also information about sedimentary rocks:

»Two stratified and fairly extensive limestone tracts occur in Närke. I was compelled to create a new name for this species of limestone and call it 'Flokalk'², and understand by that name all such as is quarried in horizontal layers and rocks and generally bears larger or smaller quantities of fossils or clear traces of the occurrence of a flood. To such a species or 'Flokalk' I thus assign, not only the one mentioned, but those from Rättvik, Vreta Kloster Parish in Östergötland, and especially the one from Öland» (op. cit., p. 19; translated from the Swedish).³

In the Proceedings of the Academy of Science (1740) TILAS published a geological-stratigraphical detail study, »Mineral-Historia Öfwer Osmunds-Berget uti Rättviks

¹ Professor J. NORDSTRÖM, Uppsala, (in litt.) kindly drew the attention of the present writer to this work.

² »Floor» are defined by BERGMAN (1766, p. 90) as »varv» — »som ligga ungefärligen vågrätt eller åtminstone icke märkeligen stup». Hit höra således bergsmäns sväfvande gångar och för öfrigt alt, hvad hos dem heter Flötser. När en flo kan delas uti flera mindre, dock alla af samma ämne, kallar jag dessa tunnare varf Lager» («strata — — which lie approximately horizontally or at least do not dip noticeably. Thus this includes the miner's horizontal dykes, and for the rest all that among them is called seams. When a »flo» can be divided up into several smaller ones, but all of the same substance, I call these thinner strata 'layers'»).

Approximately the same definition is repeated in the second edition (BERGMAN 1773, p. 198).

³ »Tvenne flolägrige och tämligen vidsträckte Kalkstens-tracter förefalla i Nerike. Jag nödgas åt denna Kalkstens-art skapa et nytt namn, och kalla honom för Flokalk, samt begriper under det namnet sådane, som brytas i liggande hvarf och hallar, samt gemenligen föra mer eller mindre

Sochn och Öster-Dalarne» (A mineralogical description of Mount Osmundsberg in the parish of Rättvik in Eastern Dalecarlia). In it are described stratum by stratum the shale and limestone beds which build up »slope and precipice» (Swedish: »backa och brant») (TILAS 1740 a, p. 202) accompanied by a coloured profile drawing. Special attention is devoted to the occurrence of petroleum within certain parts of the series of strata. The following fossils are reproduced as figs. 18–22 in TILAS's Tab. II: a cross-section of a cystoid (*Echinospaerites*) a longitudinal section of a tabulate or heliolitid coral, a brachiopod (*Camarella* sp. ?), a fragment of a stalk of a pelmatozoan (all from Osmundsberget) and a free cheek of a trinucleid, probably *Tretaspis seticornis* (HISINGER) (from Gulleråsen). The following note is attached to the last-mentioned fossil:

»Notwithstanding that it has been difficult to examine in detail the few specimens and the small figures, nevertheless the thought has occurred to me that they are some species of small anthraconite stars, such as are usually found in the alum-shales» (op. cit., p. 208; translated from the Swedish).¹

As noticed by ZENZÉN (THORSLUND 1947, p. 138), the strata referred to by TILAS as »valklera» (fuller's earth) are bentonite beds (TILAS's layer 11).²

TILAS made extensive journeys in the Swedish-Norwegian high mountain districts, some years as a member of the boundary commission. Hardly any of the geological observations made in that connexion were published, however. In a number of works (1925, 1927, 1930 b, 1931, etc.) ZENZÉN throws light on TILAS's activities and publishes extracts from his manuscripts; TILAS importance as a pioneer for geological map-drawing should be especially noted. His best known work is perhaps »Tanckar om Malmletande i anledning af löse gråstenar» (Ideas of ore prospecting guided by erratic boulders) (TILAS 1740 b; cf. ØDUM 1945). In this connexion it is perhaps worthy of attention that, as early as in 1780, in the investigation of erratic boulders in the drift of North Germany J. CHR. FUCHS understood how, with the guidance of the lithological character and the fossil contents of the blocks, to locate their mother rock in Sweden, whence they were said to have been transported to their find-spots by the flooding of the Baltic. It may be appropriate to recall here that some years later (1784) a research worker of Swedish extraction, JOHAN JAKOB FERBER, son of the previously mentioned FERBER, apothecary at Karlskrona (p.

petrificationer eller tydliga spår til en flods händelse. Til sådan art eller Flokalk hänförelse jag altså ej mindre den nämde, än den ifrån Rättvik, Wreta Klosters Sökn i Östergötland, och särdeles den ifrån Öland.»

¹ »Ehuru swårt jag för de få stufferne och de små figurernes skuld haft, at noga ransaka dem, så har jag likwist blifwit brakt på den tankan, at det wore någon art of små orstens stienor, sådane som pläga följa alunhaltige skiffrar åt.»

² The occurrence of bentonite beds in the Swedish Ordovician — Silurian sequence has not been realized until quite recently. As we have seen, this kind of rock was yet observed as early as in 1740 by TILAS, whose description of its properties is fairly adequate. It seems to be reason to believe that the Middle Ordovician bentonite at Fågelsång in Scania was also paid attention to by geologists of the 18th century, as appears from the following quotation from RETZIUS (1776, p. 77): »Stenmarg eller Lera, som under smältning förhåller sig lika med Zeoliten, är mig vetterligen endast funnen af Hr Auscultanten J. A. GYLLENHAHL, vid Fogelsång, 3/4 mil från Lund; men icke til någon myckenhet. Den utgjorde et hvar af 1/4 tum tjocklek imellan de andre lerbäddarna i branten af backarne vid bäcken och är perfärgad» [»Stone-marl (the direct translation of the Swedish word would be »stone-marrow») or Clay, which during melting reacts in the same way as the zeolite, has been found — as far as I know — only by Mr. J. A. GYLLENHAHL, Auditor [at the Council of Mines], at Fågelsång three quarters of a mile [old Swedish] from Lund; but not in any quantities. It formed a layer, one quarter of an inch in thickness, between the other clay beds in the precipice of the hillocks at the rivulet, and is pearl-coloured»].

21), and finally member of the Prussian Council of Mines, constituted himself the interpreter of the conception that the numerous blocks of granite and other kinds of rock which are found scattered over Kurland, had possibly been carried there by drift-ice from Sweden. In view of this expression of opinion FERBER appears as an early advocate of the 'iceberg theory', which is usually ascribed to CHARLES LYELL (cf. DOSS 1901, HUCKE 1940, and ØDUM 1945).

Among TILAS's unpublished manuscripts there is one from the beginning of the 1740's dealing with »Jemtlands Känning» (The knowledge of Jemtland). On the other hand, a geological description of the province mentioned was published in 1763 by the previously mentioned celebrated mineralogist CRONSTEDT. This work, »Rön och Anmärkningar vid Jämtlands Mineral Historia» (Observations and notes on the Mineral History of Jemtland), also contains some information about the distribution and stratigraphy of the sedimentary rocks. One extract may be cited here:

»In Offerdal, just below the vicarage, the rock consists of a black and white dense limestone, irregularly mixed with corals and shells, the latter being white and having a pleasing appearance against the dark background [= Pentamerus limestone].» — — »Farther down in the parish by Enge bridge the same limestone is less full of petrifications and mostly black with white veins and fissure fillings [Swedish: »drummer»] running through. There, too, it has thick beds, so that large blocks of it can be obtained whenever it is used. By Rödö Sound many loose, well worn and rounded stones lie knocked off; but through the parishes of Näskott and Rödö there are no such rocks, but alum-shale in small steep and usually earth-covered hillocks, the shape of which is due to the disturbances to which the layers have been subjected, presumably when Lake Storsjön came into being.

On Frösön, and still more in the parish of Brunflo, is found limestone of the dense variety, grey or reddish brown in colour, which is called 'Alvarsten' (lapis calcareus, particulis impalpabilibus, cinereus rubescens). As usual it is in thick beds lying horizontally. Against the joints fossils have accumulated, mostly Orthoceratites, and this rock is said to extend up to the parish of Lit.

In Lockne the limestone was dark grey and white-veined without fossils, and there was also a blackish-grey hard kind of sandstone in shaly beds, which in the district is called 'Lofter sten' [loftarsten], and is famed for its resistance to fire and water, although a little lime was mixed in its matrix.

In the parish of Näs and on the shores of Lake Näckten stuck out layers of a strange species of rock containing alum, which, as it breaks up into wedge-shaped pieces with shining surfaces, was considered to be coal. Among them are seen a little of the dry alum-shale, black stinkstone, and the usual balls, which consist either of pyrite or liver-stone [limestone] with shells in it». — — »Thus all the rocks found in the country between Offerdal Church and across the parish of Näs are of the same species as those usually found together in other parts of the Kingdom, such as on Öland, in Scania, Östergötland and Vestergötland, Närke, and Rättvik in Dalecarlia, though with some differences in colour and texture, by which Jemtland retains its special character; but probably has its counterparts in the world even in these respects.

As long as one has not had an opportunity to see clearly several kinds above and below each other, one cannot say whether they were created at one time and in one way; for it is easily understood that in such places as now prove to be layers of

stone which contain fossils and consequently are the product of [recent] time (Swedish: 'tidens foster')¹, there were formerly mountains of greater age, and that the latter either were too high to become covered, or in more recent destructions have again become exposed, as they have nothing more in common with the former than, speaking figuratively, ice has with stones and rock-faces in a frozen lake. In Jemtland there is no profile which exhibits layers of several kinds on each other, not even of those which appear to be identical with each other, limestone and alum-shales; but the former seem to appear at higher levels than the latter» (CRONSTEDT 1763, pp. 281—283; translated from the Swedish).

In 1790 W. HISINGER published anonymously his »Samling til en Minerographie öfver Sverige» (Materials for a Minerographical description of Sweden). In the introduction the formation of the sedimentary rocks in south and central Sweden is sketched in broad outline:

»Sedimentary rocks on the Flat country, solitary, or on the slopes of primitive rock, are still more numerous and have a more regular position. A great part of Närke is covered with sedimentary rocks. The sandstone bed which is the lowest, and has — on account of the rock bitumen and culm concretions mixed in it — given occasion for a search for coal with drills at Nasta near Örebro; Alum and bituminous shale constitute the second layer, and horizontally bedded limestone the uppermost one. In Östergötland there is a considerable sedimentary rock district which includes the plain between Lakes Vetter and Roxen, of an underlying layer of sandstone, above which is alum-shale and horizontally bedded limestone, and also breccia [i. e. conglomerate] on several islands in Lake Vetter and on its shores round Grenna.

In Vestergötland by Lake Vener and around Falköping, where the order of the strata is sandstone undermost resting on granite; above that horizontally bedded limestone, clay-shale and marl-shale, and uppermost the highest peaks of Kinnekulle, Hunneberg and Halleberg, Mösseberg and Älleberg, etc., which consist of thick beds of trap-rock. In the same province and the parish of Lugnås there is a small seam consisting of two layers, sandstone and alum-shale, of which the first rests on a weathered granite.

Scania is largely covered with sedimentary rocks, both in the centre of the province and on its east and west sides. Apart from those bearing coal at Helsingborg, of sandstone, iron-clay and clay-shale, there is a large sedimentary rock district in the eastern part of the province of fairly hard, ice-grey and quartzitic sandstone, which contains fluorit and galena², partly covered by alum-shale and black bedded limestone. In the Frosta and Bjäre districts beds of sandstone and coarse breccia [i. e. conglomerate] are met with. In Färs district of pinkish sandstone and grey dense limestone with a great number of fossils. On the south-west shore of Malmö of stratified petrified coarse chalk. At Ignaberga, Balsberg, and Båstad thick beds of shell-fragment limestone etc.

¹ This line of thought was adopted by TORBERN BERGMAN (1766, p. 145): »all the kinds of rock which contain or constitute the substance of the petrifications are the product of the time [Swedish: 'tidens foster'], and thus could still be generated daily» (translated from the Swedish). Obviously BERGMAN was aware of CRONSTEDT's paper, as also appears from a note on p. 81.

² These and other mineral occurrences in the Lower Cambrian sandstone of the Simrishamn district have been known for a long time (exploratory working for galena was made already towards the end of the 17th century). They are mentioned e. g. by MALMSTRÖM (1776, p. 41) and are closely described by GEIJER (1786, pp. 34—45).

Gotland and Öland are covered with sandstone, alum-shale, and bedded limestone» (HISINGER 1790, pp. 25—26; translated from the Swedish).¹

The geologist of today can orientate himself without difficulty in the picture drawn by HISINGER and need not hesitate as to which formations are referred to.

This »Minerographie» was the first of the long series of works which HISINGER devoted to the topography, regional geology, stratigraphy, and palaeontology of Sweden. One paper has already been mentioned in an earlier connexion (p. 13, foot-note 2). In 1799 appeared »Minerographiske anmärkningar öfver Gottland» (Minerographical notes on Gotland), containing topographical, stratigraphical, lithological, and palaeontological observations. At the end of the paper is given a list of »petrified Shell Creatures and Animal Plants», mainly comprising corals. Further, inter alia, a short description is given of »*Anomia hysiterita*», i. e. *Conchidium biloculare* (LINNÉ).

The largest and most considerable of HISINGER's works was written during the 19th century. With him we enter the portals of the new century. Before us wait WAHLENBERG, DALMAN, SVEN NILSSON, SVEN LOVÉN, and ANGELIN, ready to take over and carry on the heritage from those who laid the foundation of palaeontological and historical geological research in Sweden.

12. Biographical index

(Where not otherwise indicated, the nationality is Swedish).

ADLERHEIM, PEHR (1712—89), Extra notary in the Council of Mines, finally a member of the Council of Mines	3
ALESSANDRO DEGLI ALESSANDRI (1461—1523), Italian savant.....	2
ANGELIN, NILS PETER (1805—76), Assistant professor at Lund University, Professor at the State Museum of Natural History in Stockholm	56
ARISTOTLE (384—322 B. C.), Greek philosopher and natural scientist.....	2
BACCIO (BACCUS), ANDREA (died after 1600), Physician in ordinary to the Pope.....	48

¹ »Flötzer på Slättlanden, enstakade, eller vid sluttningarne af uråldrige berg, äro ännu flere och hafva ordenteligare läge. En stor del af Nerike är betäckt med Flötzer. Sandstens hvarfvet som är det understa, har af inblandat Bergbeck och Kolm gifvit anledning till Stenkols efter-sökande med jordborr på Nasta ägor vid Örebro; Alun och Brandskiffer utgör andra hvarfvet och Flokalk det öfversta. Ut i Östergötland är en ansenlig flotrackt, som intager slätten inellan Sjöarne Wettern och Roxen, af ett underliggande Sandstens-hvarf, hvaröfver Alunskiffer och Flokalk, samt dessutom Breccia på åtskilliga öar i Wettern och vid dess stränder kring Grenna.

I Vestergötland vid Wenern och omkring Fahlköping, där hvarfvens ordning är underst Sandsten, som hvilat på Granit; deröfver Flo-kalk, Ler- och Mergel-skiffer, och öfverst de högste toppar af Kinnekulle, Hunne och Halleberg, Mösse och Olleberg, m. fl., som bestå af mäktige hvarf Flo-trapp. I samma landskap och Lugnäs Sockn, finnes en liten Flötz, bestående af tvenne hvarf, Sandsten och Alun-skiffer, hvaraf det första hvilat på en vittrad Granit.

Skåne är til stor del, så väl mitt uti landet, som vid dess Östre och Vestra sida betäckt af Flötzer. Utom de Stenkols förande vid Helsingborg af Sandsten, Jern-leror och Lerskiffer, märkes en stor flötstrakt på Östra delen af landet, af ganska hård, isgrå och kvartsig Sandsten, som förer flusspat och blyglants, till en del betäckt af Alun-skiffer och svart Flokalk. I Frosta och Biära Härad förekomma flötser af Sandsten och grof Breccia. I Färs Härad, af rödlet Sandsten och grå tät Flokalk med en myckenhet petrificater. Vid Malmös S. V. strand af flolägrig förstegrad grof Krita. Vid Egnaberga, Balsberg och Båtsta mäktige bäddar af Skölp-grus m. m.

Gottland och Öland äro betäkte med Sandsten, Alun-skiffer och Flokalk.»

BACON OF VERULAM, FRANCIS (1561—1626), English statesman and philosopher	47
BAIER (BAJERUS), JOHANN JAKOB (1677—1735), German doctor and palaeontologist.....	24
BENZELSTIERNA (before ennoblement BENZELIUS), LARS (1680—1755), mining expert and finally a member of the Council of Mines.....	14
BERGMAN, TORBERN (1735—84), Professor of Chemistry and Pharmacology at Uppsala 2, 4—5, 9, 23, 33, 47, 49, 51, 52, 55	
BIÖRNER, ERIC JULIUS (1696—1750), Translator at the Swedish lower court of appeal, Assessor in the Antiquity Archives	7
BREYN, JOHANN PHILIPP (1680—1764), German doctor and natural scientist.....	45
BROMELL (before ennoblement BROMELIUS), MAGNUS VON (1679—1731), doctor, Archiater, Assessor in the Council of Mines	2, 11, 15—28, 29, 33
BRONGNIART, ALEXANDRE THÉOPHILE (1770—1847), French geologist, palaeontologist, and ceramist.....	8
BROWALLIUS, JOHAN (1707—55), naturalist, politician, clergyman, Bishop of Åbo	9
BRUHN, OLAVUS (OLOF) (died 1792), Headmaster of Uddevalla School, assistant priest at Uddevalla	52
BUFFON, GEORGES LOUIS LECLERC DE (1707—88), French natural scientist.....	7
CELSIUS, ANDERS (1701—44), Professor of Astronomy at Uppsala.....	9
CRONSTEDT, AXEL FREDRIK (1722—65), mining expert, mineralogist	47, 49, 50, 54—55
CUVIER, GEORGES CHRÉTIEN LÉOPOLD DAGOBERT (1769—1832), French natural scientist	8, 11
DALIN, OLOF VON (1708—63), Poet, historian, courtier	7, 9
DALMAN, JOHAN WILHELM (1787—1828), doctor, Intendent at the State Museum of Natural History in Stockholm	14, 38, 42, 44, 56
DÖBELIUS (ennobled VON DÖBELN), JOHAN JACOB (1674—1743), Professor of Medicine at Lund	11, 13, 14, 15
ESBERG, JOHAN (1665—1734), Professor of Greek at Uppsala, Superintendent on Gotland	39
FERBER, JOHAN HENRIK (1703—81), Apothecary at Karlskrona.....	21
FERBER, JOHAN JAKOB (1743—90), Professor, first at Mitau, subsequently in St. Peters- burg, member of the Council of Mines in Berlin	53—54
FERRNER (before ennoblement FERNER), BENGT (1724—1802), Astromomer at Uppsala, Per- manent Secretary.....	9
FICHTEL, JOHAN EHRENREICH VON (1732—95), German natural scientist, administration official	45
FISCHERSTRÖM, JOHAN (1735—96), writer on economics and natural science.....	51
FORSIUS, SIGFRID ARON (about 1550—1624), Finnish clergyman, astronomer	9, 10
FOUGT, HENRICUS (HENRIK) (1720—82), Secretary to the Council of Mines, subsequently book-printer	36
FUCHS, JOHANN CHRISTOPH (1726—95), German courtier, natural scientist.....	53
GADD, PEHR ADRIAN (1727—97), Professor, Director of Plantations in Finland.....	7, 50
GEIJER, BENGT REINHOLD (1758—1815), mineralogist, mining expert.....	55
GESNER, CONRAD (1516—65), Swiss zoologist and mineralogist	31
GRÅBERG, J. M. (18th century), Castle Superintendent.....	7
GROTHAUS, TH. W. (18th century), Danish doctor.....	29
GYLLENHAAL, JOHAN ABRAHAM (1750—88), mining expert, Director of Ätvidaberg copper- works	4, 39—41, 53
HERMELIN, SAMUEL GUSTAF (1744—1820), mining expert, finally a member of the Council of Mines, cartographer.....	13, 50, 51
HESSELIUS, JOHAN (1687—1752), Provincial Medical Officer, Assessor at the College of Medicine	28

HIMSEL, NICOLAUS VON (1725—64), East Baltic doctor	47
HISINGER, WILHELM (1766—1852), Owner of manufacturing estates.....	7, 13, 51, 55—56
HJÄRNE, URBAN (1641—1724), doctor, Archiater, Vice President of the Council of Mines	9, 14
HJELM, PETER JACOB (1746—1813), Intendent of the chemical laboratory of the Council of Mines	38
HOF, SVEN (1703—86), philologist, Master at Skara.....	41
KAGG, LEONHARD (1682—1760), Major.....	10
KALM, PER (1716—79), Finnish botanist, Professor of Economics at Åbo... 3, 4, 23, 38,	42
LAMARCK, JEAN BAPTISTE DE MONET DE (1744—1829), French zoologist.....	8
LANGIUS (LANG), KARL NIKOLAUS (1670—1741), Swiss doctor and natural scientist.....	24
LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM VON (1646—1716), German philosopher, mathematician, and polyhistorian	47
LEOPOLD, JOHANN FRIEDRICH (1676—1711), German doctor.....	14, 18
LEYEL (ennobled LEIJEL), ADAM (1669—1744), Inspector of mines in Eastern and Western Bergslagen, Assessor, Director of the Hällefors silver-works.....	16
LIDHOLM, JOHAN SVENSSON (18th century), Military engineer.....	38
LIEWEN, HANS HENRIC VON (1704—81), Officer, courtier, finally Lord High Steward.....	50
LINNÉ (before ennoblement LINNAEUS), CARL VON (1707—78), Professor of Medicine and Natural History at Uppsala, Archiater... 2, 3, 5, 6, 8, 9, 22, 23, 29, 31—38, 42, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 52	
LIONARDO DA VINCI (1452—1519), Italian artist, polyhistorian	2
LOTHICIUS, JOHANNES PETRUS (1598—after 1652), German doctor and historian.....	10
LOUBÈRE, SIMON DE LA (1642—1729), French mathematician and diplomat.....	5
LOVÉN, SVEN LUDVIG (1809—95), zoologist, Professor at the State Museum of Natural History in Stockholm.....	56
LUDENIUS (LUDEEN) (WESTROGOTIAE), JACOB(US) (17th century—18th century), doctor	11
LYELL, CHARLES (1797—1875), English geologist.....	54
MAGNUS, OLAUS (1490—1557), Dean at Strängnäs, appointed Archbishop by the Pope (never held office, as Protestantism was introduced).....	9, 21
MALMSTRÖM, MICHAEL C:SON (1732?—95), Inspector of the Andrarum alum-works....	50, 55
MERIAN, MATTHAEUS (1593—1661), Engraver on copper, of Swiss birth.....	10
MODEER, ADOLPH (1739—99), Land-surveyor	4, 23, 41—47, 49
MOLL, KARL EHRENBERT VON (1760—1838), German geologist.....	45
NILSSON, SVEN (1787—1883), Professor of Natural History at Lund, archaeologist.....	56
D'ORBIGNY, ALCIDE CHARLES VICTOR DESSALINES (1802—57), French palaeontologist and geologist	45
ÖSTERPLAN, BENEDICTUS ANDREAS (died 1713), Teacher at Skara, clergyman.....	39
PALISSY, BERNARD (about 1510—90), French ceramist and natural scientist.....	5
PEYSSONNEL, JEAN-ANTOINE DE (1694—?), French doctor and natural scientist	49
PLINY the Elder (23—79), Roman polymath.....	9
POLHEM (before ennoblement POLHAMMAR), CHRISTOPHER (1661—1751), mechanical engineer, inventor, Counsellor of the Board of Trade.....	9
RAY (RAJUS), JOHN (1628—1705), English naturalist.....	4
RETZIUS, ANDERS JAHAN (1742—1821), Professor of Natural History at Lund 16, 47, 50—51, 53	
RISTORO D'AREZZO (CECCO D'ASCOLI, 1257—1327), Italian cosmographer	2
ROBERG, LARS (1664—1742), Professor of Anatomy and Practical Medicine at Uppsala	10,
	11, 13—14
ROBINSON, TANCRED (Englishman, no biographical data available)	5, 6
SMITH, WILLIAM (1769—1839), English geologist.....	8

SOLDANI, AMBROSIO (1733—1808), Italian, General in an Italian order, naturalist	45
SPÖRING, HERMAN DIEDRICH (1701—47), Professor of Medicine at Åbo.....	39
STENO, NICOLAUS (STENSEN, NIELS) (1638—86), Danish naturalist and doctor.....	6, 7
STOBAEUS, KILIAN, the Elder (1690—1742), doctor, Archiater, Professor of History at Lund	2, 16, 24, 28—31, 32
SWEDBERG, PETER, the Younger (1685—1731), Auditor at the Council of Mines, later Director of the Stegeberg lead-works.....	38
SWEDENBORG (before ennoblement SVEDBERG), EMANUEL (1688—1772), Assessor of the Council of Mines, naturalist	8, 9, 11—13, 23, 50
TATISCHOW (TATICHEW), BASILI (VASILIJ) NIKITICH (1686—1750), Russian member of the Council of Mines, historian.....	10
THOMSEN, CHRISTIAN JÜRGENSEN (1788—1865), Danish archaeologist.....	8
TILAS, DANIEL (1712—72), Member of the Council of Mines, King-at-arms	2—3, 9, 52—54
VOLTAIRE, FRANÇOIS MARIE (AROUET) DE (1694—1778), French author.....	6
WAHLENBERG, GÖRAN (1780—1851), Professor of Medicine and Botany at Uppsala	6, 13, 34, 46, 56
WALLERIUS, JOHAN GOTTSCHALK (1709—85), Professor of Chemistry, Metallurgy, and Pharmacy at Uppsala.....	2, 9, 33, 47—49
WALLMARK, JOHAN (1728—1802), Building engineer.....	32
WARGENTIN, PER WILHELM (1717—83), Statistician and astronomer.....	32
WERNER, ABRAHAM GOTTLÖB (1749—1817), German geologist and mineralogist.....	13
WORMIUS, OLAUS (WORM, OLE) (1588—1654), Danish doctor, archaeologist, and collector	23, 24
XENOPHANES (about 565—after 473 B. C.), Greek philosopher.....	2
ZIERVOGEL, FREDRIK (1727—92), Court apothecary in Stockholm.....	34

LITERARY SOURCES AND BIBLIOGRAPHY. (K.V.A. = Kungl. Svenska Vetenskapsakademien.) **Abel, O.**, 1922. Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit. Jena. —, 1939. Tiere der Vorzeit in ihrem Lebensraum. Das Reich der Tiere. Ergänzungsband. Berlin. — **Adams, F. D.**, 1938. The birth and development of the geological sciences. Baltimore. — **Afzelius, J. A.**, 1823. Egenhändig anteckningar af CAROLUS LINNAEUS om sig sjelf, med anmärkningar och tillägg. Stockholm. — **Ährling, E.**, 1889. See **Linnaeus**, 1732. — **Almqvist, J. A.**, 1909. Bergskollegium och bergslagsstaterna 1637—1857. Medd. Sv. Rikssark. N. F. II: 3. Stockholm. — **Aurivillius, C. W. S.**, 1888. Der Wal Swedenborg's (*Balaena swedenborgii* LILLJEBORG). K.V.A. Handl. 23: 1. Stockholm. — **Backlund, H. G.**, 1946. Om granit och gnejs och jordens ålder. K. Vet.-Soc. Årsb. 1946. Uppsala. — **Beecher, C. E.**, 1896. On a supposed discovery of the antennae of trilobites by LINNAEUS in 1759. Amer. Geologist. 17. Minneapolis. — **Benedicks, C.**, 1907 a. LINNÉ's Pluto Svecicus, edited by C. B. Inbjudn. J. utr. Drs-prom. Upps. Domkyrka 24 maj 1907. Bif. skr. Uppsala. — —, 1907 b. CARL LINNÆI Beskrifning öfver stenriket, edited by C. B. Ibid. — **Benzelstierna, L.**, 1741. Berättelse om åtskillige nyare Malm- och Mineral-Upfinningar i Riket. K.V.A. Handl. 2. Stockholm. (Reprinted 1743). — **Bergman, T.**, 1766. Physisk Beskrifning öfver Jord-Klotet, på Cosmographiska Sällskapets vägnar författad. Uppsala. (2nd edition 1773—74, two parts.) — —, 1768. Anmärkningar om Vestgötha-Bergen. K.V.A. Handl. 29. Stockholm. — —, 1782. Sciagraphia regni mineralis. Lipsiae & Dessaviae. (Several later editions.) — **Berlin, H.**, 1935. Ett lundensiskt jubileum. Zoologiska museet 200 år. 1735 ett märkesår i universitetsinstitutionernas och museernas historia. Malmö. — **Bexell, G.**, 1938. Några iakttagelser inom Båstads kritområde. Geol. Fören. Förhandl. 60. Stockholm. — **Biörner, E. J.**, 1748. Svea rikens hävda ålder upvisader med en sago och röno reda om nordiske länders så fornare som senare åboning, strandvidd och östersjö-högd. Stockholm. — **Borgström, L. H.**, 1941. Geschichte der Geologie in Finnland. Geol. Rundschau. 32. Stuttgart. — **Bromell, M. von**, 1727—30. Lithographia Svecana. Acta Literaria (et Scientiarum) Sveciae Upsaliae publicata. 2, Continens annos 1725—29. Upsaliae & Stockholmiae s. a. 3, Continens annos 1730—34. Upsaliae 1738. — —, 1730. Mineralogia,

Eller Inledning til nötig kundskap at igenkiænna och upfinna Allahanda Berg-Arter, Mineralier, Metaller samt Fossilier, Och hur de måge til sin rätta nytta användas. Stockholm. (2nd edition 1739.) — —, 1740. Mineralogia et Lithograph[h]ica Svecana. Das ist Abhandlung Derer in dem Königreich Schweden befindlichen Mineralien und Steinen Ehemals in Schwedischer Sprache abgefasst Nunmehr aber Ihrer besonderen Merckwürdigkeit halben ins Teutsche übersetzt, Mit einem Vorbericht von dem vor kurtzer Zeit in Schweden entblössten Gold-Ertz begleitet, und mit dazu dienlichen Kupfern ans Licht gestellt von MIKRANDERN [C. E. KLEIN], Stockholm & Leipzig. — **Bruhn, O.**, 1764. Dissertatio academica brevi adumbrans colles ad Uddewallam conchaceos. (Pres. J. G. WALLERIUS). Upsaliae. — **Bulman, O. M. B.**, 1946. Proposed suppression of the name *Graptolithus* LINNAEUS, 1768 (Class Graptolithina, Order Graptoloidea). Bull. Zool. Nomencl. June 1946. Washington. — **Burmeister, H.** See **Stobaeus, K.**, 1741. — [**Cronstedt, A. F.**], 1758. Försök till en Mineralogie, eller Mineral Rikets Upställning. Stockholm. (2nd edition 1781.) — **Cronstedt, A. F.**, 1763. Rön och Anmärkningar Vid Jämtlands Mineral Historia. K.V.A. Handl. 24. Stockholm. — **Dahlgren, E. W.**, 1915. Kungl. Svenska Vetenskapsakademien. Personförteckningar 1739—1915. Stockholm & Uppsala. — **Dalman, J. W.**, 1827. Om Palaeaderna eller de så kallade trilobiterna. K.V.A. Handl. 1826. Stockholm. — **Döbelius, J. J.**, 1706. Observatio: de Calcario Malmogiensi. Nova Literaria Maris Balthici & Septentrionis, collecta Lubecae. Lubecae & Hamburgi. — —, 1708. Beskrifning om Ramlösa hälso- och surbruns uppfinnande, dess belägenhet, natur, värkan och rätta bruk. Lund. (Reprinted 1907.) — **Döbeln (Doebeln), J. J. von**, 1740. De ossibus giganteis, in aggeribus laterariae, prope Falckenbergum in Hallandia repertis. Act. Phys. Med. Acad. Leopold-Carol. 5. Noremburgiae. — **Doss, B.**, 1901. JOHANN JACOB FERBER, der älteste Vertreter der Drifttheori. Centralbl. Mineral. etc. Jahrg. 1901. Stuttgart. — **Esberg, J.** See **Österplan**, 1699. — **Fischerström, J.**, 1761. Anmärkningar om Södra-Halland. Senare stycket. K.V.A. Handl. 22. Stockholm. — **Forsius, S. A.**, 1643. Minerographia, thet är, Mineralers, ättskillige Jordeslags, Metallers eller Malmars och Edla Steenars Beskrivelse. Aff förnemlige Authoribus sammanhämpkat, och medh flijt disponerat Vthi Tree Böker. Stockholm. — **Fougé, H.** See **Linnaeus**, 1745 b. — **Fries, Th. M.**, 1894. Naturalhistorien i Sverige intill medlet av 1600-talet. Uppsala. — —, 1912. Naturalhistorien i Uppsala under de fyra första decennierna af 1700-talet. Nord. Tidskr. Vetensk. Konst Industr. Stockholm — **Fuchs, J. C.**, 1780. Fortgesetzter Beytrag zur Geschichte merkwürdiger Versteinerungen. Schrift. Berlinisch. Gesellsch. Naturforsch. Freunde. 1. Berlin. — **Fürst, C. M.**, 1907 a. KILIAN STOBÆUS d. ä. och hans brev-växling. K. Fysiogr. Sällsk. Handl. N. F. 17. Lund. — —, 1907 b. Tal vid Kongl. Fysiografiska Sällskapet i Lund minnesfest den 3 december 1906 öfver dess stiftare ANDERS JAHAN RETZIUS. Ibid. — **Gadd, P. A.**, 1787 a. Inledning Til Sten-Rikets Känning, efter samlade rön och anmärkningar, Academiske Ungdomen Til Tjenst. Åbo. — —, 1787 b. Rön och Undersökning, i hvad mån Insecter och Zoophyter bidraga til Stenhårdningar. K.V.A. Handl. 8. Stockholm. — **Geijer, B. R.**, 1786. Rön och anmärkningar om Flusspats och Blyglans anledningar vid Cimbrishamn i Skåne. K.V.A. Nya Handl. 7. Stockholm. — **Gertz, O.**, 1928. LINNÉ i Lund. Föredrag i Kungl. Fysiografiska Sällskapet den 2 december 1927. Lund. (Reprinted in Linnéstudier, minnesteckningar och botaniskt kulturhistoriska uppsatser. Lund 1935.) — —, 1942. Grottbildningarna i Balsberg. Ett minnesblad till traktens äldre geologiska forskningshistoria. Skånes Natur 1942. Lund. — **Gråberg, J. M.**, 1741. Berättelse om en lefwande Groda, funnen på Gothland wid Burswik uti fasta och täta Stenen, inemot 8 Alnar neder i Stenbrottet, ock des [för:fis!] Tankar om Sten- och Jordlägen därstädes, ock om man där funnit Jordbeck, samt om Gothlands-Stenens Generation, inskickad till Wettenskaps Academien af JOHAN PHL, Med. Doct. ock Aessor samt Provincial-Medicus i Gothland. K.V.A. Handl. 2. Stockholm. (Reprinted 1743.) — **Gyllenhaal, A. J.**, 1772. Beskrifning På de så kallade Crystall-äplen och kalkbollar, såsom petreficerade Djur af *Echini* genus, eller dess närmaste slägtningar. Ibid. 33. — **Hadding, A.**, 1942. Lunds universitets geologisk-mineralogiska institution. Dess ursprung, tillkomst och utveckling. Lunds Geol. Fältkl. 1892—1942. Lund. — **Hermelin, S. G.**, 1767. Rön och Försök, hörande til Mineral-Historien öfver Skaraborgs Län i Wästergötland. K.V.A. Handl. 28. Stockholm. — —, 1773. Anmärkningar om Boserups Stenkols-Grufta, och de öfrige Stenkols-försök uti Skåne. Ibid. 34. — **Hildebrand, B.**, 1934. Om KILIAN STOBÆUS och hans samlingar. Några anteckningar kring en nyupptäckt skildring av Museum Stobaeum 1741. K. Human. Vetenskapssamf. Lund Arsb. 1933—34. Lund. — —, 1937. C. J. THOMSEN och hans lärda förbindelser i Sverige 1816—1837. Bidrag till den nordiska forn- och hävdaforskningens historia. I. Tiden till 1826. K. Vitterh. Hist. Antikv. Akad. Handl. 44: 1. Stockholm. — —, 1939. Kungl. Svenska Vetenskaps Akademien. Förhistoria, grundläggning och första organisation. Ed. by Kungl. Vetenskapsakademien. Stockholm & Uppsala. — **Himsel, N. de**, 1759. De rariori quadam Orthoceratitiss specie, in Suecica reperta, trac-

tatus. Philos. Transact. 50: 2. For the year 1758. London. — [Hisinger, W.], 1790. Samling til en Minerographie öfver Sverige. 1 (all that appeared). Stockholm. — Hisinger, W., 1797. Minerographiska Anmärkningar öfver en del af Skaraborgs Län, i synnerhet Halle och Hunneberg. K.V.A. Nya Handl. 18. Stockholm. — —, 1799. Minerographiske anmärkningar öfver Gottland. Ibid. 19 (for 1798). — —, 1837. Anteckningar i fysik och geognosie under resor uti Sverige och Norrige. 6. Stockholm. — Hjärne, U., 1694. Een Kort Anledning Till Åtskillige Malm- och Bergarters, Mineraliers, Växters, och Jordeslags, samt flere sällsamme Tings Efterspörande och angifwande. Stockholm. (Reprinted Wolfenbüttel 1734.) — —, 1706. Den Beswarade och Förklarade Anledningens Andra Flock, Om Jorden och Landskap i gemeen. Stockholm. — Hjelt, O. E. A., 1896. Naturalhistoriens studium vid Åbo universitet. Åbo Univ. Lärdomshist. 6. (Skr. Sv. Literatursällsk. Finl. 32.) Helsingfors. — Hofberg, H., 1906. Svenskt biografiskt handlexikon. New edition. 1—2. Stockholm. — Hofsten, N. von, 1945. Inbjudningsskrift till åhörande av de offentliga föreläsningar med vilka professorn i latinska språket JOSEF SVENNUNG och professorn i geologi, särskilt petrografi och mineralogi ERIK NORIN tillträda sina ämbeten. Uppsala. — Högbom, A. G., 1920. Nivåförändringarna i Norden. Ett kapitel ur den svenska naturforsknings historia. Göteborg. K. Vet. Vitterh. Samh. Handl. (4). 21—22. Göteborg 1922. — —, 1921. Geologiens utveckling under nittonde århundradet. Stockholm. — —, 1932. Naturbetraktelser i historiska perspektiv. Uppsala. — —, 1936. »Den petridelauniska floden.» Lychnos 1936. Uppsala. — Holmquist, Hj., 1938. SIGFRID ARON FORSIUS. Nord. Familjeb. Månadskronika. Stockholm. — Huckle, K., 1940. Aus den Kindheitstagen der Diluvialgeologie. Z. Geschiebeforsch. Flachlandsgeol. 16. Frankfurt a. d. Oder. — Jöcher, Chr. G., 1750—51. Allgemeines Gelehrten-Lexicon. 1—4. Leipzig. — Kalm, P., 1746. Wästgötha Och Bahusländska Resa Förrättad År 1742. Med Anmärkningar uti Historia Naturali, Physique, Medicine, Oeconomie, Antiquiteter etc. Stockholm. — —, 1754. Exercitium Academicum de Ortu Petrificatorum. Resp. J. WALLENIUS Abaoe. — Korvenkontio, V. A., 1914. Ein Mammutzahn-Fund in Helsingfors. Fennia. 35. Helsingfors. — Kurck, C., 1901. Om kalktuffen vid Benestad. Bih. K.V.A. Handl. 26. II: 1. Stockholm. — Lang, W. D., Smith, S. & Thomas, H. D., 1940. Index of Palaeozoic coral genera. Brit. Mus. (Nat. Hist.). London. — Leopold, J. F., 1720. Relatio Epistolica de Itinere suo Suecico Anno MDCCVII facto, ad JOHANNEM WOODWARD. Londini 1720. (2nd edition 1727.) — Leyel, A., 1722. Narratio accurata de cadavere humano in fodina Cuprimontana ante duos annos reperto. Acta Literaria Sveviae Upsaliae publicata. 1. Upsaliae & Stockholmiae. — Lidén, J. H., 1778—80. Catalogus disputationum, in academiis et gymnasiis Sveciae. 1—5. Upsaliae. — Lidholm, J. S. See Linnaeus, 1747 b. — Liewen, H. H. von, 1752. Beskrifning På de underjordiska gångarna uti Bals-bärgtet eller den så kallade Fläske-grafven vid Råbälöf i Skåne. K.V.A. Handl. 13. Stockholm. — Lindström, G., 1884. On the Silurian Gastropoda and Pteropoda of Gotland. K.V.A. Handl. 19: 6. Stockholm. — —, 1895. On the «Corallia baltica» of LINNAEUS. Öfvers. K.V.A. Förhandl. 52: 9. Stockholm. — —, 1896. Beschreibung einiger obersilurischer Korallen aus der Insel Gotland. Bih. K.V.A. Handl. 21. Afd. 4: 7. Stockholm. — Linnaeus, C., 1732. Iter Lapponicum. Printed in CARL VON LINNÉ'S Ungdomsskrifter samlade af EWALD ÄHRLING och efter hans död med statsunderstöd utg. af K. Vetenskaps-Akademien. Andra serien. Stockholm 1889. (2nd edition by TH. M. FRIES. Uppsala 1913.) — —, 1734. See Benedicks, 1907 a. — —, 1735. Systema Naturae, sive Regna tria naturae systematice proposita per classes ordines, genera & species. Lugduni Batavorum. — —, 1745 a. CARL LINNAEI Öländska och Gothländska Resa på Rikens Högloflige Ständers befallning förrättad Åhr 1741. Med Anmärkningar uti Oeconomien, Natural-Historien, Antiquiteter &c. Stockholm & Uppsala. (Several later editions.) — —, 1745 b. Dissertatio Corallia Baltica adumbrans. Resp. H. FOUGR. Upsaliae. (Reprinted in the several editions of Amoenitates Academicae.) — —, 1747 a. CARL LINNAEI Wästgöta-Resa, På Rikens Högloflige Ständers Befallning Förrättad år 1746. Med Anmärkningar uti Oeconomien, Naturkunnogheten, Antiquiteter, Inwånares Seder och Lefnads-Sätt. Stockholm. (Several later editions.) — —, 1747 b. Kinne-Kulle Aftagen i Profil och beskrifven af Volontairen vid Kongl. Fortificationen Herr JOHAN SVENSSON LIDHOLM. K.V.A. Handl. 8. Stockholm. — —, 1751. CARL LINNAEI Skånska Resa, på Höga Öfwerhetens Befallning Förrättad År 1749. Med Rön och Anmärkningar Uti Oeconomien, Naturalier, Antiquiteter, Seder, Lefnads-sätt. Stockholm. (Several later editions.) — —, 1753. Museum Tessinianum. Stockholm. — —, 1758. Systema Naturae, per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. 1. Ed. 10. Holmiae. (Reprinted Leipzig 1894.) — —, 1759. Petrificat *Entomolitus paradoxus*, sådant, som det finnes uti Hans Excellence, Riks-Rådets Högvälborne Herr Greffe C. G. TESSINS Samling. K.V.A. Handl. 20. Stockholm. — Linné, C. von, 1768. Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus & differentiis. 3. Ed. 12

Holmiae. — —, 1823. See **Afzelius**, 1823. — **Lönnberg**, E., 1916. Kungl. Vetenskapsakademins Naturaliekabinett 1739—1819. Naturhist. Riksmuseets Historia. Dess uppkomst och utveckling. Utg. af K.V.A. Stockholm & Uppsala. — **Ludenius**, J., 1713. De Lithogenesia Macro- & microcosmi. Exercitium physico-medica. Lugduni Batavorum. — **Lundgren**, B., 1878. Studier öfver faunan i den stenkolsförande formationen i nordvästra Skåne. K. Fysiogr. Sällsk. Minnesskr. Lund. — —, 1885. Undersökningar öfver Brachiopoderna i Sverges kritsystem. Lunds Univ. Årsskr. 20. Lund. — **Magnus**, Olaus, 1555. Historia de gentibus septentrionalibus, earumque diversis statibus, conditionibus, moribus, ritibus, superstitionibus, disciplinis, exercitiis, regimine, victu, bellis, structuris, instrumentis, ac mineris metallicis, & rebus mineralibus, necnon universis pene animalibus in Septentrione degentibus eorumq. natura. Romae. (Several later editions.) — **Malmström**, M., 1776. Mineralogisk beskrifning öfver Andrarums Alun-Skiffer-Brott. Physiogr. Sällsk. [Lund] Handl. 1. Stockholm. — **Marklin**, G., 1820. Catalogus disputationum (1778—1819), in academiis Scandinaviae et Finlandiae, Lidenianus continuatus. 1—2 + suppl. ad Catal. Lidenianum. Upsaliae. — **Moberg**, J. C., 1885. Cephalopoderna i Sveriges kritsystem. Sver. Geol. Unders. Ser. C. 73. Stockholm. — **Modeer**, A., 1785 a. Anledning til Stenrikets upställning på stadgade grunder. (2nd edition). Stockholm. — —, 1785 b. Anmerkungen über einige Nerkische Versteinerungen. Schrift. Berlinisch. Gesellsch. Naturforsch. Freunde. 6. Berlin. — —, 1786. Bibliotheca Helminthologica seu enumeratio auctorum, qui de Vermibus scilicet Cryptozois, Gymnodelis, Testaceis atque Phytozois tam vivis tam petrificatis scripserunt. Erlangae. — —, 1788. Släktet Pipmask, *Tubipora*. K.V.A. Nya Handl. 9. Stockholm. — —, 1792. Inledning til kunskapen om Maskkräken, i allmänhet. Ibid. 13. — —, 1796. Släktet Rörkamring, *Orthocera*. Ibid. 17. — —, 1797. Uptäckt angående Blankenburger Schraubenstein med platta Skifvor och runda Pipor, varande *Tubipora Epitonium* eller Harp-Pipmask. Ibid. 18. — **Munthe**, H., 1895. Preliminary report on the physical geography of the Litorina-Sea. Bull. Geol. Inst. Ups. 2. Vol. for 1894. Upsala. — **Nathorst**, A. G., 1894 a. Jordens historia. 1. Stockholm. — —, 1894 b. Sveriges geologi allmänfattligt framställd med en inledande historik om den geologiska forskningen i Sverige jemte en kort öfversigt af de geologiska systemen. Stockholm. — —, 1906. EMANUEL SWEDENBORG såsom geolog. Geol. Fören. Förhandl. 28. Stockholm. — —, 1907. CARL VON LINNÉ såsom geolog. LINNÉs betydelse såsom naturforskare och läkare. Skildringar utg. af K. Vetenskapsakad. i anl. af 200-årsdagen af LINNÉs födelse. Uppsala. (German edition Jena 1909.) — —, 1908. EMANUEL SWEDENBORG as a geologist. EMANUEL SWEDENBORG as a Scientist. Misc. Contrib. ed. by A. H. Stroh. Sect. 1. Stockholm. (Special pagination in separate prints). — **Nelson**, H., 1915. En geologisk beskrifning öfver Billingen 1723. Västerg. Fornminnesför. Tidskr. 3: 7—8. Mariestad. — **Neuchter**, J. See **Robert**, 1729. — **Nordenskiöld**, A. E., 1884. Gammal framställning af mammutdjuret. Ymer. 4. Stockholm. — **Nordenskiöld**, E., 1921—25. Biologins historia. I. Antiken, medeltiden och renässansen (1925, 2nd edition). II. Biologin under 1600- och 1700-talen (1921). III. Den moderna biologin (1924). Helsingfors & Stockholm. (German edition Jena 1926.) — **Nybelin**, O., 1942. Gammalt och nytt om swedenborgsvalen. Göteborg. K. Vet. Vitterh. Samh. Handl. (6). Ser. B. 2: 7. Göteborg. — —, 1947. Grönlandsvalen från Guldheden och swedenborgsvalen från Landerigatan. Göteborg. Mus. Årstr. 1946. Göteborg. — **Ødum**, H., 1945. Contributions to the literature on erratic boulders. Medd. Dansk Geol. Foren. 10: 5. København. — **Osander**, N. E. See **Robert**, 1715. — **Österplan**, B., 1699. Dissertatio academica de Kinna-Kulle. (Pres. J. ESBERG.) Upsaliae. — **Pihl**, J. See **Gråberg**, 1741. — **Pogendorff**, J. C., 1863. Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Wissenschaften. Leipzig. — **Regnéll**, G., 1945. Non-Crinoid Pelmatozoa from the Paleozoic of Sweden. A tacomine study. Medd. Lunds Geol.-Mineral. Inst. 108. Lund. — **Renier**, A., 1943. Commentaires sur la cueillette paléobotanique faite en 1721, par le suédois EMANUEL SWEDENBORG dans le houiller de Liège. Soc. Géol. Belg. Ann. 66. Mém. f. 3. Liège. — **Retzius**, A. J., 1776. Anmärkningar vid Skånes Mineral-Historia. Första stycket (all that appeared). Physiogr. Sällsk. [Lund] Handl. 1. Stockholm. — —, 1781. *Crania* oder Todtenkopfs-Muschel. Schrift. Berlinisch. Gesellsch. Naturforsch. Freunde. 2. Berlin. — —, 1795. Försök till Mineral-Rikets Upställning i en handbok att nyttja vid föreläsningar. Lund. — **Retzius**, N. See **Stobaeus**, K., 1734. — **Robert**, L., 1715. Dissertatio Academica de Fluviali Astaco ejusque Usu medico. Resp. Nic. E. OSANDER. Upsaliae. — —, 1716. Dissertatio Academica de Metallo Dannemorensi. Resp. M. H. SUNBORG. Upsaliae. — —, 1729. Dissertatio physico-medica de Monocerotis Cornu Fossili. Resp. JAC. NEUCHTER. Upsaliae. — **Sacklén**, J. F., 1822—23. Sveriges Läkare-historia ifrån Konung GUSTAF I:s till närvarande tid. 1:sta afd. (1822). 2:a afd. Förra häftet (1823). Nyköping. — **Sahlén**, C., 1939. Berggroddor. Med Hammare och Fackla. 9. Stockholm. — **Schück**, H., 1918. Bokwetts Gillets protokoll. Edited by H. S. Uppsala Univ. Årsskr. 1918. 2. Uppsala. — **Ser-**

ander, R., 1943. JOHAN ABRAHAM GYLLENHAAL. En förbisedd Linné-lärjunge. Sv. Linné-Sällsk. Årsskr. 26. Uppsala. — **Spöring, H. D.**, 1745. Ägg och Ungar af Sneckor och Musslor fundne i petrificerade Mussel-skal. K.V.A. Handl. 6. Stockholm. — **Ståhl, A. J.**, 1831. Register öfver Kongl. Vetenskaps-Academiens Handlingar, ifrån deras början år 1739 t. o. m. år 1825. Stockholm. — **Stobaeus, J.** See **Stobaeus, K.**, 1738. — **Stobaeus, K.**, 1730. De Dendrite Scanico. Acta Literaria et Scientiarum Sveciae Upsaliae publicata. 3. Continens annos 1730—34. Upsaliae 1738. — —, 1731. De Nummulo Brattensburgensi. Ibid. — —, 1732. Dissertatio Epistolaris ad V. Cl. Dn. Doct. THEODORUM WILHELMUM GROTHAUS, Orphanotrophei, quod Hafniae est, Regii Medicum exper. et celebr. De Nummulo Brattensburgensi, Singulari illo in Scania fossili, nec non orbiter de nonnullis aliis ad hanc Historiae Naturalis Patriae pertem pertinentibus, imprimis Frondosis Cornu Ammonis ejusdam Majoris Fragmentis. Lond. Gothorum. — —, 1734. Historia naturalis Dendritae Lapidumque cognatorum. Resp. NICOLAUS RETZIUS. Londini. — —, 1738. ΥΙΦΤΤΛΛΤΥΙΤΡ ΒΕΡΗ seu Ceraunii betulique lapides disputatione historica illustrati, quam Deo O. M. juvante et ampliss. ordine philosoph. in Univ. Incl. Carolina consentiente praeside, V. Cl. KILIAN STOBAEO pro laurea philosophica publico examini subijciat JOHANNES STOBAEUS. Londini Gothorum. — —, 1741. Α καὶ Ω. Monumenta diluvii universalis, ex historia naturali. Resp. JOH. HENR. BURMEISTER. Londini Gothorum. — —, 1752. Opvsevla in qvibvs petrefactorvm, nvmmismatvm et antiqvitatvm historia illvstratvr, in vnvu volvmen collecta. Dantisci. — **Sunborg, M. H.** See **Roberg**, 1716. — **Swedberg, P.**, 1723. See **Nelson**, 1915. — **Swedenborg, E.**, 1719. Om Watnens högd Och Förra Werldens Starcka Ebb och Flod. Bewjs vtur Swergie. Stockholm. — —, 1734. Opera philosophica et mineralia. 3. Regnum subterraneum sive minerale. De Cupro etc. Dresdae & Lipsiae. — —, 1907. Opera quaedam aut inedita aut obsoleta de rebus naturalibus nunc edita sub auspiciis Regiae Academiae Scientiarum Sueciae. 1. Geologica et epistolica. Holmiae. — **Svedmark, E.**, 1885. Några anteckningar om JOHAN GOTTSCHALK WALLERIUS. Geol. Fören. Förhandl. 7. Stockholm. — **Tatishow, B.**, 1725. Epistola ad D. ERICUM BENZELIUM de Mamontowa Kost, id est de ossibus bestiae Russis Mamont dictae. Acta Literaria Sveciae Upsaliae publicata. 2. Continens annos 1725—29. Upsaliae & Stockholmiae s. a. — **Thorslund, P.**, 1947. [Contribution to discussion.] Geol. Fören. Förhandl. 69. Stockholm. — **Tilas, D.**, 1740 a. Mineral-Historia Öfwer Osmunds-Berg et uti Rättwits Sochn och Öster-Dalarne. K.V.A. Handl. 1. Stockholm. — —, 1740 b. Tanckar om Malmletande i anledning af löse gråstenar. Ibid. — —, 1742. Stenrikets Historia Utförd I det wid Praesidii afläggande håldne Talet In för Kongl. Swenska Vetenskaps-Academien den 14 April 1742. Stockholm. — —, 1765. Utkast til Sveriges Mineral-Historia. Framlagdt uti det tal, som vid praesidii afläggande hölts in för Kongl. Svenska Vetenskaps Academi den 6 februari 1765. Stockholm. (Reprinted in the same year.) — **Törnquist, S. L.**, 1896 a. On the appendages of trilobites. Geol. Mag. N. S. (4). 3. London. — —, 1896 b. LINNAEUS on the appendages of trilobites. Ibid. — **Troedsson, G. T.**, 1931. Studies on Baltic fossil cephalopods. I. On the nautiloid genus *Orthoceras*. K. Fysiogr. Sällsk. Handl. N. F. 42: 16. Lund. — **Tullberg, S. A.**, 1882. On the graptolites described by HISINGER and the older Swedish authors. Bih. K.V.A. Handl. 6: 13. Stockholm. — **Wahlenberg, G.**, 1818. Om svenska jordens bildning. Svea. Tidskr. Vetensk. Konst. 1. Upsala. (Reprinted 1824.) — —, 1821. Petrificata telluris Svecanae. Nova Acta Reg. Soc. Sci. Ups. 8. Upsaliae. — **Wallenius, J.** See **Kalm**, 1754. — **Wallerius, J. G.**, 1747. Mineralogia, Eller Mineral-Riket. Indelt och beskrifvit. Stockholm. — —, 1748. Hydrologia, Eller Wattu-Riket, Indelt och beskrifvit, Jämte Anledning Til Vattuprofvers anställande. Stockholm. — **Wargentin, P.**, 1751. Af Vetenskapernas historia; Om Zoologien i gemen. K.V.A. Handl. 12. Stockholm. — **Warmholtz, C. G.**, 1783. Bibliotheca historica Sveo-Gothica; Eller Förteckning Uppå Så wäl trykte som handskrifne Böcker, Tractater och Skrifter, hwilka handla om Svenska Historien; Eller därutinnan kunna gifwa Ljus; Med Critiska och Historiska Anmärkningar. Del 2, som innehåller de Böcker och Skrifter, hwilka angå Sveriges Natural-Historia. Edited by C. G. GJÖRWELL. Stockholm — **Westergård, A. H.**, 1922. Sveriges olenidskiffer. Sver. Geol. Unders. Ser. Ca. 18. Stockholm. — —, 1940. Nya djupborrningar genom äldsta ordovicium och kambrium i Östergötland och Närke. Ibid. Ser. C. 437. — **Wiman, C.**, 1903. Studien über das nordbaltische Silurgebiet. 1. Bull. Geol. Inst. Ups. 6: 1. 1902. Uppsala. — —, 1940. Über neue und einige alte Leichwachsenfunde. Ibid. 28. — **Zenzén, N.**, 1920. Studier i och rörande Bergskollegii mineralsamling. 1—4. Ark. Kemi Mineral. Geol. 8: 1. Stockholm & Uppsala. — —, 1925. Geologiska kartor och geologisk kartläggning i Sverige före upp-rättandet av Sveriges geologiska undersökning. Geol. Fören. Förhandl. 47. Stockholm. — —, 1927. En skriftväxling år 1761 mellan DANIEL TILAS och prosten ABRAHAM MIÖDH angående fyndet av ett fossilförande kalkstensblock på ön Nagu. Ibid. 49. — —, 1930 a. För-sök till historik över Cederbaumska mineralsamlingen i Oskarshamn. Ark. Kemi Mineral. Geol.

10 A: 6. Stockholm & Uppsala. — —, 1930 b. Om de äldsta geologiska undersökningarna inom området öster om Faemunden. Geol. Fören. Förhandl. **52**. Stockholm. —, 1931. DANIEL TILAS om geologien i svensk-norska gränstrakter. Ur handlingar på Riksarkivet avskrivet av N. Z. Ibid. **53**. — —, 1934. Uppgifter om varvig lera i vår äldre litteratur. Ibid. **56**. — Zittel, K. A. von, 1899. Geschichte der Geologie und Paläontologie bis Ende des 19. Jahrhunderts. Gesch. Wissensch. Deutschl. Neuere Zeit. **23**. München & Leipzig.

Sparse references only have been made to the biographical literature consulted by the present writer. Biographies of members of the Swedish Academy of Science are as a rule to be found in the publications of that Society. For references, see **Dahlgren 1915**.

Addendum

Too late to be referred to in the text the author became aware of a paper by K. A. GRÖNWALL, 1916 (Om ett förmodat mammutfynd vid Falkenberg från 1700-talet. — Geol. Fören. Förh. **38**. Stockholm), in which is shown, definitely as it seems, that the bones found at Falkenberg and described in 1740 by DÖBELN (cf. p. 11 above) did not belong to a mammoth but to a whale.

Tryckt den 20 maj 1949

Uppsala 1949. Almqvist & Wiksells Boktryckeri AB

Geologische Diffusionen in kristallisierten Phasen

Mitteilung 1

Von ROBERT JAGITSCH

Bei einer Behandlung der Frage über der Bedeutung von Diffusionen in festen Phasen bei den geologischen Prozessen sieht sich der Chemiker sehr stark von einander abweichenden Ansichten gegenüber gestellt. In gewisser Hinsicht, wenn auch stark verzerrt, spiegelt sich in diesen einander widersprechenden Auffassungen der Geologen über das Ausmass dieser Bedeutung vielleicht immer noch der, mehr als ein Jahrhundert, alte Gegensatz zwischen der neptunistischen und plutonistischen Theorie der Entstehung der Gesteine, wieder. Verzerrt ist das Bild insofern, als nach NIGGLI umfassenden Arbeiten über die leichtflüchtigen Bestandteile des Magmas¹ und ihre Bedeutung für die magmatischen Vorgänge in der Lithosphäre von den modernen Magmatikern, den Vollendern der plutonischen Theorie, die überragende Rolle der leichtflüchtigen Stoffe, das heisst in erster Linie des Wassers, bei der Gesteinsbildung entsprechend betont wird, während die Richtung in der neueren Geologie, welche in den meisten oder überhaupt allen nicht vulkanischen Gesteinen², wenn auch nicht Fällungen aus wässrigen Lösungen, so doch modifizierte Sedimente sieht, mit der Bedeutung der Schmelzphasen für die Gesteinsbildung auch diejenige der Gase, Dämpfe und wässrigen Lösungen einschränken will, ja sie vielleicht in vielen Fällen praktisch überhaupt vernachlässigen zu können glaubt.

Die beiden Extreme der Auffassungen sind danach:

die Gesteinsbildung besteht im Deckgebirge im wesentlichen in einem Differenzationsvorgang des erstarrenden Magmas und der damit verbundenen thermischen, pneumatolytisch-hydrothermalen und Einschmelzmetamorphose im Nebengestein, wobei Stoffzufuhr und Stoffabfuhr praktisch allein durch flüchtige Phasen (Gase, Dämpfe, wässrige Lösungen) besorgt wird; im Grundgebirge der amphibolitischen und schiefrigen Gesteine erfolgt die Gesteinsbildung in analoger Weise unter Injektion, Durchtränkung und Assimilation sowie mehr oder minder grosser Erweichung in ganz grossem Ausmass; beziehungsweise

die Gesteinsbildung — die Granitbildung, welche von der des Gneises nicht getrennt werden darf, inbegriffen — erfolgt im wesentlichen unter stofflicher Änderung fester Gesteinsablagerungen zufolge Diffusionsvorgängen in kristallisierten Phasen.

¹ P. NIGGLI, Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma, Leipzig 1937.

² Mit Ausnahme der globalen Basalte.

Während also nach den „Magmatikern“ geologische Diffusionen in festen Stoffen von quantitativ geringer Bedeutung sind, da der Stofftransport über grössere Entfernungen, abgesehen vom Aufstieg von Magma, ausschliesslich auf Verschiebung flüchtiger Phasen zurückgeführt wird, rechnet die Gegenpartei der „Transformisten“ bei der Gesteinsbildung mit einem Materietransport im wesentlichen in festen Phasen und zwar, entsprechend der Ausdehnung der Reaktionsräume, über u. U. meilenweite Strecken.

So schwierig es für den Chemiker ist, sich in die Probleme der Nachbarwissenschaft, deren Arbeitsmethoden ihm wenig vertraut sind und deren Ergebnisse er nicht kontrollieren kann, einzusetzen, so wird eine Auseinandersetzung mit den aufgenommenen Fragen beim jetzigen Stand der Diskussionen allmählich unvermeidlich. Ein Beitrag von chemischer Seite, die sich die Untersuchung der Umsetzungen in festen Phasen zur Aufgabe gestellt hat, kann möglicherweise, trotz unserer bisher recht geringen Einsicht, doch gewisse Gesichtspunkte aufzeigen und Erfahrungen vermitteln, die vielleicht zu einem Fortschritt unserer Erkenntnis durch Anregung erneuter geologischer Untersuchungen über die Frage der Bedeutung derartiger Prozesse in der Natur führen können. Im Anschluss an diese Ausführungen sollen dann Experimentaluntersuchungen über Umsetzungen in festen Stoffen in Systemen von geologischem Interesse aufgenommen werden, das heisst vor allem in solchen mit Alkali. Bisher, da es in erster Linie galt den Nachweis der Möglichkeit derartiger Reaktionen zu erbringen und die ersten Versuche gemacht wurden den Mechanismus derselben aufzuklären, wurden derartige Systeme im allgemeinen vermieden.

In den folgenden Ausführungen dieser ersten Mitteilung sollen — nach einer Definition des Begriffes der Diffusion in fester Phase — die geologischen Prozesse, bei welchen Diffusionen im festen Zustand eine Rolle spielen können, an Hand der Literatur behandelt werden. Im Anschluss daran werden einige Überlegungen zu diesen Fragen gebracht. Diese Besprechungen petrographischer Fragen müssen naturgemäss auf eine Sichtung des Materials für eine spätere experimentelle Bearbeitung unseres eigentlichen Problems, die geologischen Diffusionen in kristallisierten Phasen, beschränkt werden und daher von rein petrographischem Gesichtspunkt unvollständig sein.

1. Definition des Begriffes der Diffusion im festen Zustand

Der wichtigste Begriff, mit dem in den folgenden Untersuchungen gearbeitet werden soll, ist der der Diffusion im festen Zustand. Zur Vermeidung von Missverständnissen bei der Anwendung von Versuchsergebnissen ist daher zunächst zu definieren, was unter Diffusion im festen Zustand verstanden werden soll.

Als Diffusion im festen Zustand wird ein Materietransport bezeichnet, verursacht durch eine Translationsbewegung von einander unabhängig wandernder Teilchen — also keine Konvektionsströme — atomarer Grösse (Ionen, Molekeln) und zwar entweder innerhalb des Kristallgitters infolge von „Sprüngen“ der Teilchen von diskreten Punkten im Gitter zu benachbarten (Leerstellen, Zwischengitterplätzen) oder an den Oberflächen von Kristalliten, wobei diese auch die der Kristallmosaik umfassen sollen.

Das wesentliche Kriterium ist also die aus unabhängigen, d. h. ungerichteten Elementarschritten zusammengesetzte Fortbewegung der einzelnen Teilchen, sowie

die geringe freie Weglänge (atomarer Grössenordnung) und das im Verhältnis zur Dauer der einzelnen Bewegungen sehr lange Verweilen der Partikeln an bestimmten Punkten in oder am Kristallgitter.

Damit scheidet als nicht unter die Erscheinung der Diffusion im festen Zustand gehörig aus:

Fortbewegung von Gasmolekeln in Gesteinssprüngen und Poren, soweit die letzteren nicht atomarer Grösse und ausserdem starke Attraktionskräfte zwischen Kristall und Gaspartikel wirksam sind (Oberflächendiffusion), und

Fortbewegung von gelösten Stoffen in fluidem Medium auch wenn vorübergehend Adsorption und Desorption der gelösten Stoffe bei Kontakt der Lösung mit Kristalloberflächen erfolgt; dazu gehören auch alle Erscheinungen der Auf- oder Auslösung und Wiederausfällung fester Stoffe beim Einwirken wässriger Lösungen oder silikatischer Schmelzen.

Manchmal werden allerdings Zweifel über die Zuordnung eines Materietransportes zum Fall der Wanderung in fester, respektive zu dem der Wanderung in gasförmiger oder flüssiger Phase auftreten können. Abgesehen von diesen Grenzfällen bei Diffusion in engsten Poren oder zersetzten festen Stoffen wird aber bei übersichtlicher Versuchsführung meistens eine Entscheidung darüber, ob eine der obigen Definition entsprechende Diffusion im festen Zustand vorliegt oder nicht, prinzipiell möglich sein. Eine gewisse Erleichterung der Begriffsverwendung ist übrigens dadurch gewährt, dass die Probleme der Gesteinsbildung und Mineralumwandlung in erster Linie sich auf Materieverschiebungen unter Bildung stabiler chemischer Verbindungen beziehen: Grenzfragen wie die über Lösungserscheinungen und Diffusion von Gasen in festen Stoffen — z. B. von Wasserstoff in SiO_2 bei höherer Temperatur — brauchen hier nicht behandelt zu werden.

Das Vorliegen von definitionsgemäsem Materietransport in festem Zustand wird von Fall zu Fall separat zu entscheiden sein. Es sei hier schon unterstrichen, dass die Anwesenheit von Schmelzen oder die Mitwirkung von Gasphasen bei Umsetzungen mit Kristallen eine Diffusion in fester Phase nicht auszuschliessen braucht. Als Beispiele dafür seien die Reaktionen angeführt:

$\text{Ag} + \text{S}_{\text{geschm.}} = \text{Ag}_2\text{S}$; die Geschwindigkeit der Umsetzung ist hier durch diejenige der Diffusion von Ag^+ in dem gebildeten festen Silbersulfid bestimmt;

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_{\text{Dampf}} = \text{ZnAl}_2\text{O}_4$; bei dieser Umsetzung wandert ZnO (eventuell in Form von Zn^{2+} plus O^{2-}) durch den festen Spinell zur Phasengrenze mit Korund und baut dort weitere Spinelschichten auf.¹

Um Missverständnisse zu vermeiden, sei abschliessend darauf hingewiesen, dass sich die Begriffe *Diffusion im festen Zustand* und *Reaktion im festen Zustand* keineswegs decken.

Als Reaktionen im festen Zustand sind ja auch Prozesse wie Kristallbildung (Kristallwachstum), Kristallabbau (Auflösung, Schmelzen, Verdampfen) und Kristallstrukturänderung anzusprechen und bei diesen Vorgängen erfolgt ebenso wie bei der Umsetzung quasibinärer Systeme fest-gasförmig (z. B. Bildung und Zerfall von Karbonaten, Salzhydraten usw.) der Umbau an *Phasengrenzflächen* ohne Diffusion im festen Zustand. Diese Prozesse sind durch eine im Verlaufe

¹ Es soll hier darauf hingewiesen werden, dass nicht etwa die durch die Phasengrenze eintretenden Partikeln durch die Schicht des bereits gebildeten Reaktionsproduktes hindurchwandern und an der anderen Phasengrenze neue Gitterpunkte unter Weiterbau des Kristalls besetzen, sondern es erfolgt vielmehr ein „Nachrücken“ der im Gitter oder an den Kristalloberflächen beweglichen Partikeln.

der gesamten Umsetzung unveränderte lineare Geschwindigkeit gekennzeichnet und erfolgen unter Einordnungsbewegungen *aller* am Aufbau der zu bildenden Phase beteiligten Partikelarten. Bei Umsetzungen in festen Stoffen mit Diffusion im festen Zustand hingegen erfolgt ein Materietransport im mehr oder weniger fertiggebildeten Gitter des Reaktionsproduktes und mit entsprechender Schicht-dickenabhängigkeit der Umsetzungsgeschwindigkeit; die Umsetzung erfolgt in diesem Fall also unter Bewegungsvorgängen *eines Teiles* der vorhandenen Partikelarten, nämlich der diffusionsfähigen Art mit genügend grosser Beweglichkeit.

Eine Klassifizierung der *Reaktionen im festen Zustand* gaben HÜTTIG¹ und — von besonderem Interesse für den Geologen — NIGGLI und BRANDENBERGER.²

2. Geologische Prozesse, bei welchen Diffusionen im festen Zustand eine Rolle spielen können

Die mächtigen Veränderungen geologischer Formationen infolge Verwitterung d. h. Hydratisierung, Auflösung und Abtragung und die darauf folgende Sedimentation und chemische sowie Ausfällung erfolgen an festen Stoffen oder in Lösungen, soweit nicht überhaupt rein mechanische Kräfte wirksam sind. Diffusionen in festen Stoffen spielen schon wegen der dabei herrschenden niedrigen Temperatur keine Rolle.

Reaktionen im festen Zustand sind daher in nennenswertem Ausmass nur beim Aufbau der Minerale, der Bildung der Gesteine zu erwarten: nur dabei sind die für derartige Umsetzung im allgemeinen notwendigen erhöhten Temperaturen gegeben. Von geringerem Interesse dürfen dabei Diffusionsvorgänge in den Erstarrungsprodukten von Magmen sein, obwohl auch in diesem Fall, wegen der sehr langsamen Abnahme der Temperatur in diesen Ergiessungen oder „Intrusionen“ grosser Ausdehnung die Möglichkeit zu Entmischungen und Umsetzungen in festen Stoffen gegeben ist. Als Beispiel dafür sei nur auf die möglichen Entmischungen in den Feldspaten hingewiesen. In erster Linie werden aber Diffusionen in kristallisierten Phasen im Zusammenhang mit metamorphen Umwandlungen, lokaler oder regionaler Art, zu erwarten sein.

In den folgenden Abschnitten soll daher eine Sichtung dieser geologischen Vorgänge vorgenommen werden und Formationen und Minerale, die möglicherweise durch derartige Prozesse entstanden sein können, zu einer späteren Untersuchung vorgemerkt werden. Mit Rücksicht auf die Gegensätze in den Auffassungen der Geologen über die Vorgänge der Gesteinsbildung und damit über die Rolle der Reaktionen im festen Zustand bei diesen Prozessen, muss diese Erörterung zweifach durchgeführt werden: einmal entsprechend der Auffassung der „Magmatiker“ und einmal entsprechend der Auffassung der „Transformisten“, also der Vertreter einer Gesteinsbildung durch Umwandlung von Sedimenten unter regionalen Diffusionen in festen Phasen.

A) Entsprechend der Auffassung der »Magmatiker«

Betrachtet man zuerst die metamorphen Vorgänge im Deckgebirge, so kann unterschieden werden zwischen solchen im Zusammenhang mit dem Auftreten

¹ G. F. HÜTTIG, Kolloid-Z. 94 (1941) 137; 258; 97 (1941) 281.

² P. NIGGLI u. E. BRANDENBERGER, Hedvallfestschrift, S. 403, Göteborg 1948.

des ursprünglichen Gesteins und solchen, die am ursprünglichen Gestein im Zusammenhang mit einem späteren von der ursprünglichen Gesteinsbildung unabhängigen geologischen Prozess erfolgen. Als Beispiel für die erstgenannte Autometamorphose sei die Abkühlungsmetamorphose von Eruptivgestein genannt. Bei der zweitgenannten Art metamorpher Umwandlungen, den Allometamorphosen, wird unterschieden zwischen geothermischer Metamorphose, der Dislokationsmetamorphose und den verschiedenen Formen der Kontaktmetamorphose (thermische, pneumatolytisch-hydrothermale und Einschmelzmetamorphose).

Autometamorphose tritt im Verlauf der magmatischen Kristallisation auf, bei welcher infolge der Änderungen der Temperatur, des Druckes und der chemischen Zusammensetzung der Restschmelzen Gleichgewichtsverschiebungen stattfinden. Diese äussern sich in Resorption, Umwandlung, Entmischung und Umsetzung vorher gebildeter Minerale. Diese Prozesse verlaufen in der Hauptsache an Phasengrenzen zwischen Kristallen und Schmelzen und lassen oft den Einfluss fluider Phasen erkennen. Zeolithbildung, Umwandlungen von Orthoklas in Kaolin oder Olivin in Serpentin und Talk sind Beispiele dafür. Während bei diesen Hydrolysen die für eine Diffusion im festen Zustand notwendigen Bedingungen kaum vorliegen dürfte — doch kann auch darüber noch nichts entscheidendes ausgesagt werden — so kann bei Umsetzungen von Kristallen mit trockenen Schmelzphasen dieser Reaktionsart erhebliche Bedeutung zukommen. Dass Diffusionen in kristallisierten Phasen den entscheidenden Prozess bei der Umsetzung zwischen Schmelzen und Kristallen darstellen kann, wurde an den Beispiel Ag/Schwefel gezeigt.

Über die Kinetik von Prozessen wie beispielsweise die Resorption von Quarzeinsprenglingen in Trachyten und Andesiten (Ergussgesteinen mit den hauptsächlichsten Gemengteilen Orthoklas + Hornblende bzw. Plagioklas + Hornblende), die Abgabe von Magnetit bei der randlichen Umwandlung von Riotiten und Hornblende in Augit (sogen. opacitische Umrandung) ist nichts bekannt.

Umsetzungen infolge von Absinken oder Aufsteigen von Gestein bei geringen Tiefenunterschieden (geothermische Metamorphose) sind für die Silikate von geringer Bedeutung; auch bei Dislokationsmetamorphosen sind die Umsetzungen von geringem Ausmass, da die Temperaturunterschiede kaum genügend gross sein dürften. Darauf kann aus dem gleichzeitigen Vorkommen von Kalzit und Quarz und dem Auftreten wasserhaltiger Silikate in derartigen Formationen geschlossen werden.

Intensivere Metamorphosen treten im Kontakt zwischen Gesteinen und aufsteigenden Magmen auf. Die dem Nebengestein zugeführte Wärmemenge ist von gewaltigem Ausmass, die Temperatur, zumindest in grösserer Nähe des Kontaktes, hoch und die Erhitzungsdauer beachtlich: INGERSOLL und ZOBEL¹ berechnen beispielsweise die Temperatur im Abstand von 700 m vom ursprünglich 1 000° warmen Kontakt nach 6 400 Jahren zu noch 400° C. Selbst wenn man in der Natur meist mit etwas geringeren Kontakttemperaturen rechnen muss (nach GRUBENMANN und NIGGLI² mit 800° oder weniger) so lassen die im Vergleich zu den Laboratoriumversuchen gewaltigen Reaktionsdauern die Vermutung, dass unter solchen Bedingungen auch Umsetzungen in Kristallphasen in grossem Mass stattfinden können, als nicht unbegründet erscheinen. Wurde doch bereits bei den in Laboratoriumversuchen angewendeten, kurzen Versuchsdauern bei 500° C die Bildung von Kalziumsilikat aus Quarz und Kaliumkarbonat festgestellt und es ist bekannt, dass Feldspate bereits bei 400° entstehen können.

¹ Zit. n. U. GRUBENMANN und P. NIGGLI, l. c.

² U. GRUBENMANN und P. NIGGLI, Die Gesteinmetamorphose, 1. Teil, Bln. 1924.

Infolge der blossen Wärmezufuhr bei der Magmaplatznahme ist erfahrungsgemäss im Nebengestein die Möglichkeit für den Ablauf einer grossen Anzahl von Umsetzungen gegeben. Im Kontakt mit Tonsediment wird vor allem eine Entwässerung desselben stattfinden und ausserdem werden Umsetzungen mit den anderen Bestandteilen des Tons unter Bildung von Glimmer, Biotit, Cordierit, Granat, Spinell u. s. w. wahrscheinlich grösstenteils im festen Zustand erfolgen. Kurze Diffusionswege in feinkörnigen, festen Mischungen können erfahrungsgemäss grosse Umsätze in wesentlich kürzeren Zeiten als den bei geologischen Prozessen wirksamen Zeitspannen verursachen.¹

Bei der Metamorphose *toniger Sedimente* zeigt sich die Einwirkung von Lösungsphasen bei geringerer Metamorphose, d. h. bei niedriger Temperatur, deutlich am Auftreten von Reaktionsflecken (Knotenschiefer) und der Bildung wasserhaltiger, kristallisierter Silikate. In erster Linie ist in diesem Stadium die Bildung von Biotit festzustellen. Biotit entsteht aus dem Chlorit, Sericit, Eisenoxyd und Rutil der tonigen Sedimente und bleibt meist bis zu einem recht weit vorgeschrittenen Stadium der Metamorphose erhalten. Sind die tonigen Sedimente reicher an Kaolin bzw. Aluminiumoxyd, dann tritt die Biotitbildung zurück und es entsteht Andalusit —



In chloritreichen Sedimenten hingegen wird statt dessen Cordierit, $(\text{Mg} \cdot \text{Fe})\text{O} \cdot 2 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{SiO}_2$, gebildet. Diese Silikate können in ziemlich grossen Kristallen auftreten, die als Fremdstoffeinschlüsse unveränderte Bestandteile des Sediments enthalten und selbst in das kaum veränderte Sediment eingebettet sind.

Im mittleren Stadium der Metamorphose erscheinen die nicht umgesetzten Stoffe rekristallisiert. So hat z. B. Glimmer jetzt nicht mehr die feinteilige Form des Sericits, sondern liegt in Form von grösseren Blättchen vor. Meist hat doch eine chemische Umsetzung stattgefunden und der Glimmer in diesem Stadium die Zusammensetzung des Muskovits angenommen. Der Gehalt des Sediments an Magnetit erscheint jetzt stark reduziert: teilweise hat Magnetit bereits früher zur Bildung von Biotit und Cordierit beigetragen, teils werden jetzt weitere Mengen durch die Umsetzung mit Rutil zu Ilmenit verbraucht.

Im letzten Stadium der Metamorphose, d. h. bei noch höheren Temperaturen, reagiert der früher gebildete Andalusit mit Hypersthen und Quarz unter Bildung von Cordierit —



sowie Muskovit mit Quarz unter Bildung von Orthoklas:



Biotit gibt in diesem vorgeschrittenen Stadium der Umwandlung unter Umsetzung mit Aluminiumsilikat ebenfalls Orthoklas, wobei aus dem Eisenoxyd und Magne-

¹ GRUBENMANN und NIGGLI (l. c.) schreiben auch: „Was die (thermische Kontakt-) Metamorphose betrifft, so kann kein Zweifel darüber bestehen, dass während derselben die Gesteine als Ganzes immer fest waren. Ursprüngliche Texturen und Strukturen sind oft gut erhalten. Es hat einfach eine Umkristallisation stattgefunden, an der zur gleichen Zeit nur wenig Material beteiligt war. Auch hier wird Lösungsumsatz eine grosse Rolle spielen, wenn auch zur Erklärung der Erscheinungen die Annahme von Lösungsmitteln nicht immer notwendig ist“. (Gesperrt v. Verf.)

siumoxyd Hypersthen entsteht. Die Endprodukte der Metamorphose toniger Sedimente sind daher Orthoklas, Hypersthen und Cordierit neben etwas Magnetit und dem bei den verschiedenen Umsetzungen nicht verbrauchten Quarz. Bei entsprechend langdauernder Metamorphose erhält das Gestein eine körnige Struktur und wird dann nicht mehr als Hornfels, sondern als (Cordierit-, Sillimanit-) Gneis bezeichnet.

Bezüglich der Metamorphose von Sandsteinen kann folgendes angeführt werden: Die Sandsteine enthalten vor allem Quarzsand, viel Muskovit, etwas Feldspate, Pyroxene, Hornblende und Biotit, aber kaum Olivine und Nephelin, die von allen Mineralen am leichtesten verwittern. Wegen ihres höheren spezifischen Gewichts gehen ausserdem in die Sande auch Zirkon, Rutil, Anatas und Apatit, obwohl sie ihrer geringen Korngrösse nach in den tonigen Sedimenten zu erwarten wären.

Die Sandkörner werden hauptsächlich durch feinteilige Minerale der gleichen Zusammensetzung verkittet, aber es können auch Ton, Eisenoxyde und Kalzit — vielleicht in Lösung zugeführt — als Bindemittel vorkommen.

In hauptsächlich aus Quarz bestehenden Sandsteinen tritt nur eine Rekristallisation des Bindemittels ein: eventuelle Umwandlungen (bei 575 und 870° C) im Verlaufe einer thermischen Metamorphose sind reversibel und hinterlassen keine Spur. In Feldspat-Quarz-Sandsteinen hingegen bleiben die Konturen der oberhalb 870° C gebildeten Tridymitkristalle zufolge deren Einbettung in Feldspat oder Glas erhalten und zeigen so die Minimaltemperatur der Metamorphose an.

Bei der thermischen Metamorphose von Kalksteinen ist in erster Linie Rekristallisation (Marmorbildung) festzustellen. Dolomit gibt dabei Dolomitmarmor oder unter teilweisem Zerfall —



Periklasmarmor, d. h. Periklaskristalle (MgO) eingebettet in Marmor. Das MgO ist dabei manchmal hydratisiert und bildet Brucitkristalle im Marmor.

In mit SiO₂ oder Aluminiumsilikat verunreinigten Kalken beginnt bereits bei ziemlich tiefen Temperaturen mannigfaltige Silikat- bzw. Aluminiumsilikatbildung. Merkwürdigerweise wird in SiO₂-haltigen Kalken fast ausschliesslich Wollastonit gebildet während das in Schmelzflüssen oder durch Umsetzung im festen Zustand gewonnene Orthosilikat unter den Bedingungen bei der Metamorphose nicht beständig zu sein scheint.

Mischungen von CaCO₃ und Quarz sind aber selten rein und es wird daher meist eine ganze Reihe anderer Silikate gebildet. Ist MgO vorhanden, dann wird sofort Diopsid gebildet; bei Gegenwart von Aluminiumoxyd entsteht vor allem Grossular¹ und Anorthit. Der Grossular ist dabei im rekristallisierten CaCO₃ eingebettet. Oft wächst dieses Mineral so rasch, dass es Verunreinigungen einschliesst (z. B. Pyrrhotit).

In verunreinigten Kalksteinen wird ausserdem Orthoklas aus Glimmer gebildet:

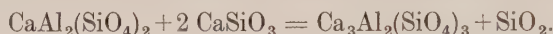


Auch der bei tieferer Temperatur im Verlaufe der Metamorphose gebildete Zoisit, Ca₂(AlOH)Al₂(SiO₄)₃, kann bei höheren Temperaturen Kalkfeldspat, CaAl₂(SiO₄)₂,

¹ Grossular ist übrigens meist zonar, oft mit wechselndem Eisengehalt, welche Tatsache nach BACKLUND nur durch Bildung in festem Zustand verstanden werden kann.

bilden. Bei Gegenwart von Albit scheint jedoch aus Zoisit bereits bei tieferer Temperatur Albit-Oligoklas entstehen zu können. In MgO-haltigen, verunreinigten Kalksteinen werden zuerst Amphibole gebildet, die bei fortschreitender Metamorphose, d. h. bei höheren Temperaturen, wieder verschwinden.

Im allgemeinen wird im Verlaufe dieser Metamorphosen infolge hoher Reaktionsgeschwindigkeiten Gleichgewicht erreicht, d. h. es treten bestimmte Gleichgewichtskombinationen von ganz bestimmten Mineralen auf: z. B. Grossular und Diopsid neben Wollastonit oder Anorthit, während Wollastonit und Anorthit nicht gleichzeitig vorkommen können. Offenbar erfolgt in diesem Fall Umsetzung nach



Bei rascher Erhitzung und Wiederabkühlung der Gesteine, d. h. bei kleineren Intrusionen, treten aber auch metastabile Phasen auf wie Gehlenit ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$), Monticellit (CaMgSiO_4), Merwinitt ($\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiOH})_2$) usw.

Bei allen diesen Metamorphosen handelt es sich um Umsetzungen zwischen den verschiedenen Komponenten im Sediment; die Reaktionen erfolgen also ohne Materiezufuhr. Grössere stoffliche Änderungen im Nebengestein werden von den Magmatikern stets auf Stoffzufuhr und Stoffabfuhr zufolge pneumatolytischer oder hydrothormaler Einwirkungen zurückgeführt.¹

Unter den bei der Pneumatolyse zugeführten Stoffen sind vor allem Bor, Fluor und Chlor von Bedeutung. Ihre Zufuhr ist vor allem im Zusammenhang mit sauren Intrusionen (Granit) zu beobachten und folgt zeitlich auf die thermische Metamorphose.

Borsäure bildet in tonigen Sedimenten Turmalin. Die Turmaline werden durch Umsetzung von Borsäure oder Boraten mit Biotit, Cordierit, Andalusit gebildet; in zweiter Linie wird selbst Feldspat umgesetzt. Gleichzeitig mit der Turmalinisierung erfolgt Bildung von Glimmer.

Fluorzufuhr während der Pneumatolyse verursacht in tonigen Sedimenten Bildung weisser Glimmer, wie Lepidolith, Muskovit usw. Diese entstehen aus den bei der thermischen Metamorphose vorher gebildeten Feldspat, Andalusit und Cordierit. In plutonischen Gesteinen entsteht übrigens bei der Fluoreinwirkung Topas; z. B. bei der Greisenisierung von Granit.

In Mg-haltigen, metamorphosierte Gesteinen wird vor allem Phlogopit gebildet. In $\text{HKMg}_3\text{Al}(\text{SiO}_4)_3$ ist der H teilweise durch MgF- ersetzt. In den dunklen Phlogopiten ist ausserdem Eisen enthalten. Eine weitere Mineralgruppe ist Chondrodit $\text{Mg}_3(\text{MgF})_2(\text{SiO}_4)_2$, Humit $\text{Mg}_5(\text{MgF})_2(\text{SiO}_4)_3$ und $\text{Mg}_7(\text{MgF})_2(\text{SiO}_4)_3$. Gleichzeitig mit diesen Mineralen tritt meist Fluo-Apatit auf, $\text{Ca}_4(\text{CaF})(\text{PO}_4)_3$ während Kalziumfluosilikate sehr selten sind.

Chlorideinwirkung auf Kalkstein bei der Pneumatolyse resultiert hauptsächlich in der Bildung von Skapolithen, einer Mischkristallreihe mit den Endgliedern

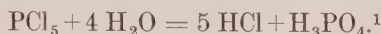
¹ Es sei an dieser Stelle daran erinnert, dass der eben behandelte Abschnitt ein Referat der „magmatistischen“ Auffassung darstellt; von den „Transformisten“ wird auch hier Materiezufuhr angenommen und damit motiviert, dass z. B. Kalkstein in Grossularfels umgewandelt wird ohne dass, trotz beachtlichem Dichteunterschied, eine Volumsverminderung nachweisbar ist. Andererseits braucht nach „transformistischer“ Auffassung eine Zufuhr der später genannten Elemente Bor, Fluor u. s. w. durch Pneumatolyse nicht erfolgt zu sein, sondern es kann Anreicherung von Borsäure u. s. w. bereits bei der Sedimentation von Ton, Kalkstein u. s. w., vorliegen.

Marialith $\text{Na}_4(\text{AlCl})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{O}_8)_3$

und Meionit $\text{Ca}_4(\text{AlO})\text{Al}_5(\text{SiO}_4)_6$.

Die Umwandlung von Plagioklas in Skapolith ist oft zu beobachten, doch erfolgt auch Skapolithbildung aus anderen Alumosilikaten wie Vesuvian und Grossular.

Zusammen mit Skapolith wird meist auch Apatit gebildet (Chlorapatit) und zwar oft in solchen Mengen, dass gleichzeitige Zufuhr von Phosphor angenommen wird, z. B. entsprechend



Sulfide und Eisen werden ebenfalls in der pneumatolytischen oder postpneumatolytischen Periode zugeführt. Am wichtigsten sind die Skarngesteine am Kontakt von Kalkstein mit Granit oder anderen plutonischen Gesteinen. Hier werden Eisen-, Zink-, Blei- und Kupfersulfide gebildet oder Magnetit bei gleichzeitiger Bildung von Kalksilikaten (haupts. Granat) und Pyroxenen.

Alkalizufuhr liegt vor bei der Albitisierung von Kontakten mit basischen Intrusionen. Tonige Sedimente werden dabei in Adinolen verwandelt. Es handelt sich nach Auffassung der Magmatiker um flüssige Lösungen, die eine durchgreifende Umwandlung nicht allein entlang Sprüngen, sondern in kompakter Schicht von einigen Fuss Dicke verursachen. Die Cornwall Adinolen bestehen fast ausschliesslich aus Albit; die aus ähnlichen Sedimenten entstandenen Adinolen des Harz aus Albit-Quarz-Gesteinen mit Verunreinigungen von u. a. Chlorit, Epidot. Ausser der Zufuhr von Natrium und Kieselsäure muss dabei ein Abtransport von Mg, Fe, K und Ca stattgefunden haben und zwar in molekulardisperser Phase, da die ursprüngliche Schichtstruktur erhalten bleibt.

Im Kontakt mit sandigen Sedimenten werden Amphibole und Pyroxene gebildet.

Grössere stoffliche Änderungen im Nebengestein werden also von den „Magmatikern“ im allgemeinen auf Stoffzufuhr und Stoffabfuhr zufolge pneumatolytischer oder hydrothermalen Einwirkungen zurückgeführt. Beim Magmenaufstieg tritt Druckentlastung ein und es entweichen zuerst in charakteristischer „Destillationsfolge“ die leichtflüchtigen Stoffe. Nach dem Entweichen der Gase und Dämpfe destillieren endlich gegen Ende des Kristallisationsprozesses auch die Restlösungen in das Nebengestein hinein.

Bei diesen sporadischen, d. h. lokal auf Spalten, Gänge u. s. w. begrenzten Einwirkungen der leichtflüchtigen Stoffe ist es nicht immer mit Sicherheit festzustellen, ob diese vom eindringenden Magma oder vom Nebengestein selbst herrühren: können doch auch in diesem bei der Erhitzung Gase und Dämpfe abgespalten werden, die sich mit weiteren flüchtigen Stoffen beladen und in der Folge weitere Metamorphosen verursachen. Unbekannt bleibt ferner — und das soll hier besonders unterstrichen werden — ob im Einzelfall bei diesen Umsetzungen die Mineralbildung in Schmelzen oder in kristallisierten Phasen verläuft: eine Umsetzung in Schmelzen hat dabei auch dann stattgefunden, wenn die Umbildung der Minerale, obwohl das Gestein in der Hauptsache fest war, in geringen Mengen fluider Phasen erfolgte, während eine Umsetzung im festen Zustand definitionsgemäss auch dann vorliegt, wenn die Mineralbildung unter Diffusion in festen Phasen stattgefunden

¹ Dass jedoch Phosphor auch endogener Natur sein kann, geht aus dem Phosphorgehalt kalksteinbildender Schalen hervor; das gleiche gilt für den Schwefel bei Sulfidbildungen.

hat und zwar unabhängig davon ob etwa die Zufuhr der reagierenden Stoffe zur Phasengrenze des Minerals in Form von Schmelzen oder in Gasphasen erfolgt ist.

Im allgemeinen wird der Nachweis für die eine oder andre Art der Mineralbildung nur schwierig zu erbringen sein und oft können beide Vorgänge in zeitlicher Aufeinanderfolge am gleichen Gestein stattgefunden haben. So weiss man beispielsweise aus Überführungsversuchen mit Alkali in Silikaten, dass Alkalidiffusion in festen Silikaten bereits bei einigen hundert Grad möglich ist und es ist daher anzunehmen, dass Alkali z. B. in festen Hornfelsen diffundiert. Einem derartigen Prozess im festen Zustand kann aber natürlich sehr wohl eine Durchdringung toniger Sedimente durch natronreiche, kieselensäurehaltige Lösungen unter Adsorption und Umsetzung vorangegangen sein. Das gleiche gilt für die Metamorphisierung von Gestein unter Einwirkung von Gasen und Dämpfen.

Während die Reaktionen im festen Zustand im Stadium der hydrothermalen Bildungen kaum mehr eine Rolle spielen können, so werden derartige Prozesse demnach bei allen Umsetzungen bei höheren Temperaturen aufzusuchen sein, d. h.

in der Phase der thermischen Kontaktwirkung nach erfolgter Entwässerung;

während der Alkalizufuhr unter Feldspatisierung, Biotisierung u. s. w.;

während der Zufuhr von F, Cl, B, Be, Li und Phosphor unter Turmalin-, Apatit-, Beryllbildung und

bei der Zufuhr von silikatischen Schmelzen bei den plutonischen Intrusionen.

Betrachtet man abschliessend die Metamorphosen im *Grundgebirge*, d. h. in den, den fossilführenden Schichten unterlagerten, kristallinen Schiefern u. s. w., so zeigt es sich, dass die oben beschriebenen, im Deckgebirge nur sporadisch auftretenden Erscheinungen, in diesem in gewaltigem Ausmass stattgefunden haben müssen. Offenbar kommt das Sedimentgestein während der Orogenese mit Magma in Kontakt, es wird unter langen Zeiten auf höhere Temperaturen erhitzt und von gasförmigen und Schmelzphasen durchtränkt und dabei unter teilweiser Schmelzung umgewandelt. In diesen Metamorphosen regionalen Ausmasses kommen daher alle Typen der Gesteinsmetamorphose in grösster Mannigfaltigkeit vor.

Ausser der erhöhten Temperatur sind bei der regionalen Metamorphose aber noch hoher Druck und Stress wirksam. Die Folge davon ist, dass oft andre Minerale (Stress-Minerale) auftreten als bei der thermischen Metamorphose in den gleichen Sedimenten. Je nach der Tiefe treten verschiedene Zonen mit immer tiefer greifender Metamorphose auf, die durch verschiedene Indikatorminerale gekennzeichnet sind. Bei *tonigen Sedimenten* unterscheidet man:

Die *Chloritzone* mit geringster Umwandlung und den Hauptmineralen Glimmer, Chlorit und Quarz, während bei thermischen Metamorphosen aus Glimmer und Chlorit (plus Eisenoxyd) stets Biotit gebildet wird. Auch die Bildung von Andalusit und Cordierit wird hier durch Stress verhindert. Als typisches Stressmineral kommt hingegen Disthen (Cyanit) vor.

In der *Biotitzone* wird bei fortschreitender Metamorphose aus Chlorit und Muskovit Biotit gebildet; neben Quarz sind diese drei Minerale die Hauptbestandteile der Biotitzone.

In der *Granatzone* wird aus dem in der Biotitphase nicht verbrauchten Chlorit unter Aufnahme von Eisenoxyd aus Magnetit Granat gebildet. Diese Zone ist sehr breit und enthält Biotit unverändert. Grössere Granatkristalle enthalten oft Quarzeinschlüsse.

Staurolith- und Cyanitzone: Bei weiterer Temperaturerhöhung tritt Bildung von Al-Silikaten ein. Im Gegensatz zur thermischen Metamorphose wird hier aber

infolge der Stresswirkung statt dem Andalusit Disthen gebildet und statt Cordierit in gewissem Ausmass Staurolith ($= \text{H}_2\text{FeAl}_4\text{Si}_2\text{O}_{12}$). Die Staurolithkristalle enthalten oft grosse Mengen Quarz eingeschlossen. Die gewöhnlichsten Begleiter sind Biotit, Muskovit und Quarz, manchmal auch Natronfeldspat. Die Staurolithzone ist schmal, d. h. das Temperaturgebiet seiner Beständigkeit ist klein und es erfolgt bald Umsetzung nach



Die *Sillimanitzone* stellt den höchsten Grad der Metamorphose dar. In dieser Phase wird das Gestein körnig und die ursprüngliche Struktur verschwindet. Fossile grösserer Tiere waren zufolge der erhöhten Diffusion und Deformation bereits in der Staurolithzone verschwunden. Disthen verschwindet in dieser Phase und es wird Sillimanit gebildet.¹

Sillimanit entsteht bei der Metamorphose nicht nur auf Kosten von Disthen, sondern auch teilweise aus Muskovit: darauf kann man aus dem Auftreten von K-Feldspat schliessen d. h. es erfolgt Umsetzung nach Muskovit $\rightarrow \text{KAlSi}_3\text{O}_8 + \text{Al}_2\text{O}_3$ und $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Sillimanit}$. Der Sillimanit entsteht in Form von Nadeln und zwar manchmal in Quarz oder Muskovit eingebettet, manchmal in Schwärmen zwischen grösseren Kristallen von Glimmer u. s. w. Die übrigen Minerale der Zone sind Quarz, Granat, Glimmer und Oligoklas, nicht selten auch Orthoklas. Auch Spinell wird beobachtet entsprechend der Umsetzung: Quarz + Biotit \rightarrow Sillimanit + Spinell + Orthoklas.

Unregelmässigkeiten treten auf, wenn die tonigen Sedimente nicht genügend Al_2O_3 enthalten, da dann die Bildung von Staurolith, Cyanit und Sillimanit wegfällt und wenn zufolge geringerer Stresswirkung auch bei Regionalmetamorphosen Bildung von Cordieritgneisen eintritt.

Bei Regionalmetamorphose von Sandsteinen, ohne Kalkverunreinigungen erfolgt meist geringe Veränderung. In der Hauptsache erfolgt nur Rekristallisation des Bindemittels und der Feldspatkörner. Sind tonige Verunreinigungen vorhanden, dann erfolgen Umwandlungen entsprechend denen bei der thermischen Metamorphose.

Bei *Regionalmetamorphose in kalkhaltigen Sedimenten* werden reine Kalke in Marmor übergeführt. Bei Verunreinigungen mit Quarz können Kalk und Kieselsäure bis zum höchsten Grad der Metamorphose nebeneinander vorkommen, d. h. es wird wegen des hohen Druckes nicht CO_2 freigemacht und Wollastonit gebildet. Al-Silikate wie Kaolin bzw. Al_2O_3 reagieren hingegen mit dem Kalk. Ausser früher genannten Silikaten wird vor allem Grossular und Vesuvian gebildet. Gleichzeitig wird Biotit in Diopsid übergeführt und Muskovit in Mikrolin. Da in Kalkfelsen der Stress viel geringer ist als in tonigen Sedimenten, kann hier aus Glimmer K-Feldspat gebildet werden. Im höchsten Grade der Metamorphose wird Anorthit aus Epidot und Zoisit gebildet. Wollastonit kommt, wie erwähnt, nicht vor, sondern es erfolgt unter dem hohen Druck Umsetzung nach



Im Gegensatz dazu wird in Mg-haltigen Kalksteinen, die eine niedrigere Dissoziationstemperatur aufweisen, Silikat gebildet: die hier d. h. unter Stresswirkung

¹ Der Zusammenhang der Dimorphen Cyanit-Sillimanit ist nicht klar; beim Erhitzen gehen beide unter Ausscheidung von SiO_2 in Mullit über: $3 \text{ Al}_2\text{SiO}_5 \rightarrow 3 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{ SiO}_2 + \text{SiO}_2$.

gebildeten Silikate sind Amphibole (Tremolit vor allem), während bei der thermischen Metamorphose aus dem Karbonat und der verunreinigenden Kieselsäure Forsterit entsteht. Gleichzeitig wird Muskovit, Biotit und Magnetit aus den Verunreinigungen Glimmer, Chlorit u. s. w. gebildet. Bei fortschreitender Metamorphose kann endlich Tremolit mit diesen Silikaten unter Bildung von Al-haltiger Hornblende reagieren. Enthält der dolomitische Kalk dagegen nur Kieselsäure als Verunreinigung, dann bleibt der Tremolit länger erhalten und wird erst in der Granatphase durch Diopsid und Forsterit ersetzt. Im höchsten Grad der Metamorphose geht übrigens auch die Al-haltige Hornblende in Diopsid und Forsterit über, wobei das Al_2O_3 Spinell bildet.

B) Entsprechend der »transformistischen« Auffassung einer hauptsächlich durch Reaktion im festen Zustand erfolgten Gesteinsbildung

Ausgehend von der Tatsache, dass Elemente und Oxyde in festen Stoffen wandern können, vertritt eine Reihe von Geologen die Auffassung, dass die Bildung der Gesteine, und zwar inklusive der Gneise, Granite, u. s. w., in der Hauptsache auf derartige Prozesse in ganz grossem Masstab zurückzuführen sind.

Gebirgsbildung unter Umsetzung von im grossen und ganzen festen Gesteinen unter Stoffzufuhr aus den tieferen Erdschichten wurde in neuerer Zeit zuerst von SEDERHOLM angenommen. SEDERHOLM vertritt dabei die Auffassung, dass auch Granite aus sedimentärem und basaltischem Gestein unter der Einwirkung des „Ichor“ entstehen können. Nachdem der mysteriöse „Ichor“ jedoch so wenig definiert ist und SEDERHOLM bei den regionalen Metamorphosen offenbar mit der Mitwirkung fluider Phasen rechnet, so soll SEDERHOLMS Auffassung hier nicht weiter behandelt werden.

Das gleiche gilt für die französischen Geologen, die sich um die Mitte des vorigen Jahrhunderts (z. B. BEAUMONT 1847) ebenfalls für eine in situ-Entstehung der „terrains cristallophylliens“ ausgesprochen haben und diese durch Materialzufuhr zufolge Diffusion von Gasen oder Lösungen aus grosser Tiefe und Fixierung des zugeführten Materials an Sedimenten erklären.

Der Auffassung, dass die Gesteine unter regionalen Diffusionen in festen Phasen entstanden seien, am nächsten steht TERMIER, der für die diffundierenden Stoffe die neutrale Bezeichnung „Emanation“ anwendet. TERMIER'S Hypothese¹ liegen Beobachtungen über Feldspatisierungsvorgänge grosser Gebiete sedimentärer Schiefer, Albitisierung von Grünsteinen u. ä. Prozesse zu Grunde.

BACKLUND² ist in erster Linie bestrebt den Nachweis dafür zu erbringen, dass der Granit im Gegensatz zur Auffassung der „Magmatiker“, in situ entstanden ist. Hierbei erscheint ihm die feldgeologische Frage der Raumbildung bei der Platznahme von entscheidender Bedeutung. Ein starker Hinweis ist ihm ferner die Erhaltung struktureller Einzelheiten in den tektonischen Deformationsspuren umgebender Sedimentmassen auch innerhalb der massigen Ersatzgesteine. Da nach BACKLUND der Granit in seiner Genese von Gneis nicht prinzipiell zu trennen ist, zieht er zur Erklärung dieser Granitbildung die Möglichkeit einer Umsetzung unter Diffusion in festen Phasen heran. Diese soll dabei vor allem in der ersten Phase der Gebirgsbildung wirksam und die Ursache von Materieverschiebung sein. Erst in

¹ P. TERMIER, Congrès géol. int. C. r. XI. sess., Stockholm, S. 587.

² H. G. BACKLUND, Geol. Mag. 83 (1946), 105; Kgl. Vetenskapssoc. Årsb. 1946 (Uppsala).

einem vorgeschrittenen Zustand der Granitisierung ist nach BACKLUND mit einer „Mobilisierung der Granitisierungsfront“ („Rheomorphismus“) unter dem Einfluss flüchtiger Phasen in höheren Niveaus der Erdkruste zu rechnen, d. h. einer partiellen Schmelzung der Gesteine.

Unter Referierung der Ergebnisse chemischer Untersuchungen und eingehender als BACKLUND behandeln PERRIN und ROUBAULT, sowie BUGGE die regionale Gesteinsbildung unter der Annahme einer Materieverschiebung zufolge Diffusion in kristallisierten Phasen.

Die erstgenannten Forscher setzen sich mit den verschiedenen Theorien der Bildung der körnigen Gesteine auseinander und kommen dabei zu dem Schluss, dass diese durch Umsetzung im festen Zustand entstanden sein müssen.¹ Nach einer Ablehnung der Theorie der magmatischen Differentiation von BOWEN wenden diese Autoren sich auch gegen die Auffassungen, dass die körnigen Gesteine unter Mitwirkung von Gasen (MICHEL-LÉVY²) und heissen Lösungen (NIGGLI³, HARKER⁴) entstanden wären. Als Begründung dieser Ablehnung wird angeführt, dass eine Umsetzung in kristallisierten Phasen erfahrungsgemäss möglich sei und mit einer Mitwirkung fluidier Phasen daher auch bei den geologischen Diffusionen nicht gerechnet zu werden braucht.

Als Beispiele für derartige Diffusionen in Gesteinen wird angeführt: WEGMANN'S Beobachtung über eine der „Migmatisationsfront“ vorangehende Cordieritschicht, in welcher das wanderungsfähige Magnesium zusammengedrängt ist⁵; die Beobachtungen von DU TOIT⁶ an metamorphisiertem Marmor, bei welchem im Kontakt mit Granit oder Gneis eine Diopsid-, Skapolith- und Forsterithaltige Kontaktschicht auftritt, auf die in der Richtung zum Marmor eine Fluor-Magnesiumsilikatschicht (Chondroit) folgt. Auch hier wird der Eindruck gewonnen, dass eine Diffusion von Stoffen mit verschiedener Diffusionsgeschwindigkeit stattgefunden habe und zwar ohne Zweifel im festen Zustand. Das gleiche gilt für die Entdolomitierung vom Dolomit im Kontakt mit Granit: die Anreicherung von Kalk ist auf eine Abwanderung von MgO und Magnesiumsilikatbildung am Granitkontakt zurückzuführen. Dieser Prozess kann nach ROUBAULT und PERRIN auch in ganz grosser Skala, nämlich bei der Bildung von Grünsteinen stattgefunden haben.⁷

Hier wird also wie von Backlund eindeutig zum Ausdruck gebracht, dass eine Diffusion in kristallisierten Phasen bei den geologischen Prozessen auch über grosse Strecken angenommen werden muss. So wie später von BUGGE wird auch hier diese Möglichkeit mit der langen Dauer der geologischen Prozesse begründet. Entsprechend dieser Auffassung deuten die genannten Autoren auch die von MICHEL-LÉVY, LACROIX und BARROIS aufgezeigten Phänomene der „Imbibition“, des „soaking“ und SEDERHOLMS „Ichor“ als eine fraktionierte Diffusion in festen Phasen, wobei die Fraktionierung auf Unterschiede in der Diffusionsgeschwindigkeit

¹ R. PERRIN u. M. ROUBAULT, Bull. Serv. Carte géol. Algérie, (5), 1937, Nr. 1; 1939, Nr. 4.

² A. MICHEL-LÉVY, Bull. Serv. Carte géol. France, 14 (1902), Nr. 92; 15 (1904), Nr. 96; betr. neuere Arbeiten zusammen mit J. WYART vgl. Mémoires Soc. Géol. France, N° 55, s. 1-55 (1947).

³ P. NIGGLI, Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma, Lpzg. 1937.

⁴ A. HARKER, Metamorphism, London 1932.

⁵ C. E. WEGMANN, Geol. Rundschau, 26 (1935), H. 5.

⁶ A. L. DU TOIT, Quart. J. Geol. Sc. London, 75 (1919), 119.

⁷ An eine Auslaugung dolomitischer Gebiete durch granitisches Magma und damit verbundener Bildung basischen Gesteins hat früher bereits M. LONGCHAMON (Bull. Serv. Carte géol. France, 21 (1912), Nr. 131) gedacht.

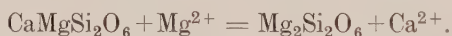
zurückgeführt werden.¹ Die Möglichkeit der selektiven Diffusion in den Kristallen erscheint diesen Autoren damit der Schlüssel zum Problem der gesamten Gesteinsmetamorphosen und damit auch zu dem der Granitbildung. Als wesentliche Stütze ihrer Auffassung, dass der Granit nicht aus einem Magma unter Differenzierung entstanden sein kann, erscheint dabei die Tatsache, dass in Graniten Feldspate auftreten können, die entgegen dem, was nach dem Anorthit-Albit-Gleichgewicht zu erwarten wäre, eine Zonarstruktur mit von innen nach aussen zunehmendem Kalziumgehalt aufweisen.

Am schärfsten wird diese Auffassung der Möglichkeit einer Gesteinsbildung (inkl. der von Granit) durch Diffusion in festen Phasen von BUGGE vertreten.² Nach diesem Autor kann die Bildung gewisser präkambrischer Granite, Granodiorite u. s. w. nur durch eine „long-distance“ Wanderung von Materie in Form von Ionen oder Molekeln in oder entlang Kristallgittern verstanden werden. Nach einer Einführung in die Grundlagen der Diffusionserscheinungen in Kristallen geht BUGGE in der zitierten Arbeit auf bestimmte Gesteinsformationen und deren wahrscheinliche Entstehung ein.

Besonders eingehend werden die Arendalite behandelt, bei denen vor allem die Feldspate den Beweis für eine in situ-Entstehung der Gesteine unter Durchdringung der Kristalle durch einen Materiestrom liefern. BUGGE nimmt dabei Ionendiffusion an und formuliert die Umwandlung von Natronfeldspat in Kalifeldspat entsprechend

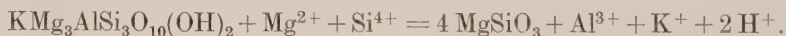


Weitere Beispiele für die stattgefundenen Umsetzungen sind Beobachtungen über die Bildung von Albit aus basischen Plagioklasen und die Umwandlung von Diopsid in rhombischen Pyroxen —



Im Gegensatz zu diesen, nach BUGGES Ansicht durch Diffusionsvorgänge in den Kristallgittern gebildeten Mineralen findet man in Gesteinen, welche unter Einwirkung fluider Phasen metamorphisiert wurden, die umgesetzten Minerale bloss als Umrandungszonen oder in relativ dünner Schicht in Sprüngen und Rissen des ursprünglichen Gesteins.

In fluider Phase erfolgt nach BUGGE wahrscheinlich jede Mineralumbildung unter Wasseraufnahme oder -abgabe, doch wird selbst hierfür die Möglichkeit einer H^+ -Wanderung im festen Kristall ventiliert. Die Umwandlung von z. B. Biotit in Enstatit könnte danach geschehen nach



Bei der Besprechung von Koronas, z. B. in Hyperiten, deren Bildungsverlauf früher von BARTH untersucht wurde³, wird diese Hypothese wandernder H-Ionen versuchsweise zur Erklärung der Bildung hydroxylhaltiger Minerale herangezogen.

¹ Vgl. neben den bereits früher genannten auch J. JUNG (Mem. Serv. Carte géol., Alsace Lorain, 1 (1928), Nr. 2), der die Aureolen um Gneiseinschlüssen im Kalkstein ebenfalls auf Unterschiede in der Diffusionsgeschwindigkeit zurückführt. JUNG findet dabei allerdings bei der Ordnung der Elemente nach abnehmender Diffusionsgeschwindigkeit die Reihe Fe, Ti, Al und endlich Mg und Si. Ausserdem nimmt JUNG auch eine in entgegengesetzter Richtung erfolgende Wanderung von Kalk an, welcher in der Enklave eine Feldspatschicht bildet.

² J. A. W. BUGGE, Vidensk.-Akad. Skrifter, Oslo, Mat.-Naturv. Kl. 1945 Nr. 13.

³ T. F. W. BARTH, Vidensk. Akad. Skr., Oslo, Mat.-Naturv. Kl., 1927, Nr. 8.

Die Reaktionsprodukte bei dieser Koronabildung, einer Umsetzung zwischen Olivin und Plagioklas, sind Hypersthen und Hornblende plus Spinell in zwei distinkten Schichten.

Bei der Bildung von Skarngesteinen zufolge Umsetzung zwischen Kalkstein und Silikaten, wie Hypersthen oder Plagioklas, nimmt BUGGE, in Anlehnung an WAGNERS Hypothese, entgegengesetzte Ionenwanderung an, und zwar Ca^{2+} und CO_3^{2-} bzw. Si^{4+} , Al^{3+} , Na^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} und Mg^{2+} , wobei die diffundierenden Elemente in obiger Reihe nach abnehmender Diffusionsgeschwindigkeit angeschrieben sind.

Die bei der Untersuchung der bisher besprochenen Metamorphosen geringeren Umfanges gewonnene Anschauung, dass diese in der Hauptsache durch Diffusionsprozesse in festen Phasen — im oder am Kristallgitter — verursacht wurden, überträgt BUGGE endlich auch auf die Bildung granitischer Gesteine. So wie BACKLUND, wie PERRIN und ROUBAULT sieht er in diesen, durch aus der Tiefe aufsteigende, molekulardisperse Stoffe, metamorphisierte Sedimente. Der SEDERHOLMSche „Ichor“ ist, nach BUGGE, ein die Gesteine umwandelnder Diffusionsstrom von Si-, Al-, Na-, K- und — wegen der Aufrechterhaltung der Elektroneutralität — O-Ionen.¹

Diese Wanderung von Materie über grosse Strecken durch das Gestein ist, wie BUGGE betont, eine bisher keineswegs bewiesene Hypothese und man kann keine Aussagen darüber machen, in welchem Ausmass diese Art der Umbildung an der Granitisierung beteiligt war. Jedenfalls muss man annehmen, dass während der Orogenese infolge des magmatischen Druckes auch Magma, d. h. Silikatschmelzen durch Spalten und Risse nach oben gepresst wurde. Existierten derartige Linien geringen Widerstandes nicht, dann wird man hingegen mit einem Materietransport durch die Minerale hindurch rechnen müssen.

3. Vorläufige Bemerkungen über die Bedeutung der Diffusionen in festen Phasen für die geologischen Prozesse

Eine Kritik der beiden einander widersprechenden Auffassungen in der Geologie über die Bedeutung der Diffusionen in kristallisierten Phasen für die Vorgänge bei der Mineral- und Gesteinsbildung kann, solange diese Art von Prozessen von chemischer Seite so wenig bearbeitet ist, wie bisher, nur sehr unvollständig sein. Folgendes kann aber vielleicht bereits jetzt zu diesen Fragen gesagt werden:

Die Möglichkeit von Umsetzungen in oder zwischen festen, aus Silikatschmelzen ausgeschiedenen Kristallen bei Änderungen der Zustandsbedingungen dürfte eine wesentlich grössere Rolle für die Gesteinsbildung spielen, als in der klassischen Geologie bewusst geworden ist. Vorgänge dieser Art wurden wohl gegebenenfalls registriert, doch treten diese gegenüber der Fülle der Erscheinungen bei den geologischen Prozessen in den Hintergrund: den Umfang ihrer Bedeutung zu erkennen wird daher solange nicht möglich sein, als eine zusammenfassende Behandlung dieser Fragen fehlt. Für derartige, bereits früher bekannt gewordene Diffusionsvorgänge in Mineralen kann eine Reihe von Beispielen angeführt werden. In erster Linie handelt es sich dabei um Entmischungsvorgänge in Feldspaten bei sinkender Temperatur.

¹ Bei der Bildung von Reaktionszonen zwischen benachbarten Gesteinen und Mineralen soll hingegen, wie früher erwähnt, die Umsetzung durch in entgegengesetzter Richtung wandernde Kationen besorgt werden.

So wurden Entmischungsvorgänge in Albit-Orthoklasmischkristallen bei Temperaturerniedrigung von DITTLER und KÖHLER¹ nachgewiesen und als Ursache perthitischer Strukturen in den natürlichen Feldspaten erkannt.² Die Homogenisierung von Perthiten beim Erhitzen und Wiederentmischung beim Abkühlen auf Temperaturen zwischen 700 und 1100° C tritt statt der Albit- und Orthoklasinterferenzen das homogene Röntgenogramm des Mischkristalls auf, beim Abkühlen wird wieder Entmischung festgestellt.

Entmischungsvorgänge in bei höheren Temperaturen beständigen Mischkristallen von Kalifeldspat und Quarz sind nach MACHATSCHKI⁴ die Ursache der Verwachsungen von diesen in der Grundmasse von Granit und Quarz (sogen. Mikropegmatit).

Ausscheidungen von Fe_2O_3 in Orthoklas sind beim Abkühlen zu erwarten und erklären die Färbungen gewisser Feldspate (Aventurineldspat).⁵

Eine Zusammentragung weiterer Beispiele von Prozessen dieser Art und eine Abschätzung ihrer quantitativen Bedeutung für die Ausbildung der Gesteine erscheint wünschenswert; eine Untersuchung des Reaktionsverlaufes kann dann das Bild ihrer Entstehung weiter abrunden.

Weit mannigfaltigere Prozesse und vor allem solche von grösserem Ausmass, sind aber bei den Gesteinsmetamorphosen, d. h. unter *Erwärmung* der Minerale zu vermuten. Dies gilt besonders bei solchen regionalen Ausmasses wie der Bildung von Gneisen und anderen Gesteinen aus Sedimenten. Die an sich bedeutungsvolle Beobachtung, dass auch in diesen Fällen flüchtige Phasen hervorragenden Einfluss auf die Gesteinsbildung, nämlich auf die Art der Metamorphosen ausgeübt haben, braucht Diffusionsvorgänge innerhalb der bei diesen Prozessen entstandenen Mineralen nicht auszuschliessen, worauf bereits früher nachdrücklich hingewiesen wurde. Tatsächlich wird ja auch im allgemeinen von den „Magmatikern“ keineswegs die Möglichkeit einer wichtigen Rolle der Umsetzungen in Kristallen verneint und selbst die Eventualität einer hauptsächlich in fester Phase verlaufenden Umsetzung bei den Hauptmetamorphosen in Betracht gezogen.⁶ Worauf von diesen im Zusammenhang damit jedoch stets wieder hingewiesen wird, sind die Anzeichen für die Mitwirkung von Gasen, Dämpfen und Schmelzen, die allein als Träger für *über grössere Strecken* transportierte Materie bezeichnet werden. Einen extrem ablehnenden Standpunkt nimmt doch z. B. HARKER⁷ ein, der die Anwesenheit von Lösungsmitteln für sowohl die Rekristallisation, als auch für die Umsetzung der Kristalle miteinander im Verlauf der Metamorphose, als unumgänglich notwendig ansieht. Allerdings geht dieser Autor dabei von der Auffassung aus, dass eine merkliche Reaktion zwischen zwei miteinander im Kontakt befindlichen Kristallen im allgemeinen nicht nachweisbar ist, was umso befremdender anmutet, als gerade bei dem angeführten Beispiel der Umsetzung von Kal-

¹ E. DITTLER u. A. KÖHLER, *Tscherm. Mineral. Mitt.* 38 (1925), 229; vgl. auch E. SPENCER, *Mineral. Mag.* 24 (1937), 453.

² O. ANDERSON (*Norsk. Geol. Tidsskr.* 10 (1928), 116) führt allerdings die Entstehung vieler Perthite auf metasomatische Albitneubildungen zurück.

³ S. KOZU u. Y. ENDO, vgl. *Ref. C* 1922, I, 1008.

⁴ F. MACHATSCHKI, *Zbl. Mineral.* 1928, A, 97.

⁵ Vgl. P. NIGGLI, *Z. anorg. allg. Chem.* 84 (1914), 50; A. L. DAY u. E. T. ALLEN, *Z. phys. Chem.* 54 (1905), 21; O. ANDERSEN, *Amer. Journ. Sci.* (4) 40 (1915), 380.

⁶ Abgesehen natürlich von Schmelzmetamorphosen.

⁷ A. HARKER, *Metamorphism*, London 1932.

zit und Quarz beim Erscheinen der zitierten Arbeit (1932) bereits von verschiedener Seite gezeigt worden war, dass eine Umsetzung im festen Zustand bei erhöhter Temperatur möglich ist.¹

Während die Geologen, welche die Bedeutung einer aus dem Erdinneren aufsteigenden Silikatschmelze für die Bildung der körnigen Gesteine und für die Metamorphosen (Erwärmung, Durchgasung, Injektion, Aufschmelzung) unterstreichen, wegen des augenfälligen Wirkens flüider Phasen die Möglichkeit von Umsetzungen in festen Phasen offenbar zu wenig beachtet haben, so dürfte die andere Richtung in ihrem Bestreben, die in situ-Entstehung gewisser Gesteine zu beweisen, den Reaktionen im festen Zustand einen zu grossen Platz eingeräumt haben. In beiden Fällen ist jedoch die primäre Ursache für die Unsicherheit über die wahren Proportionen der Rolle derartiger Prozesse in der Natur unsere geringe Kenntnis über die dafür grundlegenden Systeme, nämlich über die Diffusionen in Alkali-Aluminiumsilikaten. Eine weitere Unsicherheit dürfte ausserdem noch teilweise durch die Anwendung des Begriffes der Diffusion in festen Stoffen ohne genügende Definition desselben in die Debatte gebracht worden sein.

Eine gedeihliche Weiterführung dieser Debatte verlangt daher offenbar, dass von chemischer Seite, alle bisher zur Verfügung stehende Erfahrung der Geologie, bereitgestellt und in den Experimentaluntersuchungen die für die Gesteinsbildung bedeutungsvollen Systeme berücksichtigt werden. Bei allen diesen Erörterungen wird man sich immer vor Augen halten müssen, dass — und dies soll besonders unterstrichen werden —

Diffusionen in kristallisierten Phasen auch bei Mitwirkung flüchtiger Phasen nicht ausgeschlossen sind; sowie andererseits

dass Umsetzungen in Schmelzphasen stattgefunden haben können, wenn auch das Gestein bei der Transformation in überwiegendem Ausmass in kristallisierter Form vorgelegen ist.

Welche Richtigstellungen können nun aber vom Chemiker bereits heute gemacht werden? In erster Linie wird wohl gegen die Anwendung hypothetischer Reaktionsgleichungen bei der Beschreibung von möglicherweise im festen Zustand verlaufenen Umsetzungen bei Gesteinsbildungen Stellung zu nehmen sein.² Tatsächlich konnte die von WAGNER³ gebrachte Hypothese einer gegenseitigen Kationwanderung bei der Umsetzung in Silikaten und Spinellen bisher nicht bestätigt werden. Obwohl unsere Kenntnisse über den Verlauf dieser Reaktionen noch sehr gering sind, so wird man doch bereits heute die Erwartung aussprechen dürfen, dass eine Wanderung von Si^{4+} oder Al^{3+} neben der Wanderung anderer Partikeln in Kristallen kaum von grösserer Bedeutung sein dürfte. Bei der Bildung von Bleisilikaten und Zinkaluminat konnte jedenfalls keine Wanderung von 3- oder 4-wertigen Ionen festgestellt werden, sondern allein durchaus einseitige Diffusion von Oxyden 2-wertiger Elemente, wobei es sich zumindest im ersten Falle zeigte, dass die Reaktionsgeschwindigkeit viel zu gross ist, um durch eine Ionenwanderung im Kristallgitter erklärt werden zu können. Dass die von BUGGE angeschriebenen und oben teilweise referierten Reaktionsgleichungen daher nur die Bedeutung eines Diskussionsvorschlages haben, soll hier besonders unterstrichen werden.

Im Zusammenhang mit dieser Beobachtung der bevorzugten Diffusion von

¹ Vgl. W. DYCKERHOFF, Zement 14 (1925), 321; W. JANDER, Z. anorg. allg. Chem. 163 (1927) 1; G. GRUBE u. R. TRUCKSESS, Z. anorg. allg. Chem. 203 (1931), 75.

² Vgl. J. A. W. BUGGE, l. c.

³ Vgl. C. WAGNER, Z. phys. Chem. (B) 34 (1936), 309; Z. angew. Chem. 49 (1936), 735.

niedrigwertigen Elementen erhebt sich die Frage, wie der von den Geologen bei der Ausbildung von Kontaktaureolen beobachtete Transport von Kieselsäure zu erklären ist. Obwohl systematische Untersuchungen über die Kinetik der Umsetzungen in festen Alkali-Silikatsystemen ausstehen, so kann doch in diesen in erster Linie mit einer Wanderung des Alkali gerechnet werden. Hinweise dafür sind die Ergebnisse bei Überführungsversuchen an Gläsern, Quarz u. s. w.¹, nach denen das Alkali beweglich ist, während das Si-O- oder Si-Al-O-Gerüst der Silikate unverändert erhalten bleibt. Eine Wanderung von Oxyden mehrwertiger Elemente wurde allerdings in festen Systemen manchmal festgestellt, doch handelt es sich dabei um einen Transport mehr oder minder flüchtiger Säureanhydride in stark gestörten Reaktionsschichten. Als Beispiel dafür sei die Umsetzung von Magnesiumoxyd mit Magnesiumpyrophosphat angeführt², bei welcher Reaktion P_2O_5 zwischen 900 und 1050° C so rasch durch das gebildete Orthophosphat wandert, dass die Reaktionsgeschwindigkeit bei den angewendeten Versuchsdauern von der Dicke des Reaktionsproduktes unabhängig ist und durch die Geschwindigkeit eines Phasengrenzprozesses bestimmt wird. Offenbar handelt es sich bei diesem Transport grosser Molekeln um eine Diffusion auf den inneren Oberflächen der stark gestörten Schicht des Reaktionsproduktes — eine Diffusion die bereits eine Übergangstellung zur Diffusion in der Gasphase darstellt.

Über eine Wanderung von SiO_2 und Al_2O_3 in festen Phasen, sei es in Ionenform innerhalb oder entlang Kristallgittern, sei es als Molekeln entsprechend der erwähnten Wanderung von Phosphorpentoxyd, ist bisher nichts bekannt geworden. Trotz dieser Erfahrungen über die Unbeweglichkeit der Kieselsäure in den festen Silikaten wird nun von einer Reihe von Geologen³ eine Wanderungsfähigkeit der Kieselsäure bei der Bildung von Kontaktzonen angenommen und überdies noch festgestellt, dass die Geschwindigkeit derselben grösser ist, als diejenige von Alkali. Die Diffusionsgeschwindigkeit nimmt nach diesen Erfahrungen ab in der Reihe Si, Al, Na, Fe, Mg. Sollte es sich bei einer Überprüfung dieser Ergebnisse zeigen, dass das Verhältnis der Wanderungsgeschwindigkeiten in der angegebenen Reihenfolge zurecht besteht, dann wird man daraus den Schluss ziehen dürfen, dass die Kieselsäurezufuhr in fluider Phase erfolgt ist. Eine weitere experimentelle Überprüfung der Wanderungsrichtung in silikatischen Systemen ist natürlich notwendig.⁴

¹ Vgl. die Literaturzusammenstellung bei W. EITEL, *Physikalische Chemie der Silikate*, 2. Aufl., Lpzg. 1941, S. 114 ff.

² R. JAGITSCH u. G. PERLSTRÖM, *Arkiv Kemi, Min., Geol.* (Stockholm), (A) 22 nr. 5, 1946; weitere Beispiele bei W. JANDER, *Z. anorg. allg. Chem.* 191 (1930), 171.

³ Vgl. H. G. BACKLUND, *C. r. Géol. Finlande* 9, 1939; H. v. ECKERMANN, *Geol. Fören. Förh.* Stockholm 44, 1922.

⁴ Dass eine eindeutige Festlegung der Wanderungsrichtung, d. h. der Art der diffundierenden Partikeln selbst im viel übersichtlicheren Experiment oft schwierig ist, zeigt die Änderung von JANDERS Auffassung bei fortgesetzter Untersuchung des Systems $CaO-SiO_2$. Während JANDER ursprünglich (vgl. *Z. anorg. allg. Chem.* 163 (1927), 1) eine Wanderung von SiO_2 annimmt, zwingen spätere Erfahrungen zur Annahme einer Diffusion von Erdalkalioxyd durch das feste Silikat (*Z. anorg. allg. Chem.* 216 (1934), 211; 226 (1936) 225). Die in letzter Zeit eingeführte Methode der Indizierung der Phasengrenzen dürfte die Entscheidung über die Art der wandernden Teilchen wesentlich erleichtern (vgl. R. JAGITSCH, *Nature*, Feb. 1947.) Eine Überprüfung der Wanderungsrichtung bei Kontaktreaktionen in der Natur nach dieser Methode erscheint nicht aussichtslos. Zur Markierung könnte hier ein im Sediment vorkommendes Mineral, welches sich an den Kontaktreaktionen nicht beteiligt, dienen. Im Falle einer Materieverschiebung aus dem Sediment in die die Metamorphose verursachende Intrusion müsste in eine Anreicherung des markierenden Minerals an der Grenze Sediment-Kontaktzone beobachtet werden, während

Bezüglich der Transformation von Sedimenten und älterem Gestein zufolge einer Stoffzufuhr aus tieferen Schichten ausschliesslich oder in der Hauptsache unter Diffusion in festen Phasen ist folgendes zu bemerken:

Nimmt man vereinfachend an, dass eine (ideale) Sedimentschicht aus groben Sandkörnern und kieselssäurereichem Aluminiumsilikat von einer solchen chemischen Zusammensetzung, dass bei entsprechender Alkalizufuhr aus diesem gerade Feldspat gebildet wird, eine Alkaliquelle (geschmolzenes, alkalireiches Silikat) überlagert, so wird bei einer Eindiffusion von Alkali vorerst in der Kontaktschicht eine Umsetzung unter Bildung von Alkali-Aluminiumsilikat erfolgen können. Ist das Aluminiumsilikat, wie hier angenommen, genügend reaktionsfähig, so kann man dabei erwarten, dass bei entsprechender Alkalizufuhr aus diesem Feldspat gebildet wird, ohne dass die eingemengten, grösseren Quarzkörner merkbar angegriffen werden.

Eine Verdickung dieser ersten Reaktionsschicht von Feldspat (und unverändertem Quarz) zufolge Diffusion im festen Silikat oder an dessen Korngrenzen unter Beibehaltung ihrer Zusammensetzung setzt dann voraus, dass die Diffusionsgeschwindigkeit des Alkali in dieser Schicht so gross ist, dass das Alkali die Feldspatschicht rascher durchwandert als die Quarzkörner unter Bildung von Alkalisilikat, bzw. der Feldspat unter Bildung kieselssäureärmerer Silikate (etwa Leucit und Kaliophilit) angegriffen werden. Im anderen Fall müsste der Gehalt des Gesteins an Alkalisilikat mit der Tiefe ansteigen und der Durchmesser der Quarzkörner entsprechend abnehmen bzw. der Granitschicht Schichten anderer Zusammensetzung (Leucit bzw. Kaliophilit plus Kaliumsilikat) nachfolgen. Die Abnahme der Korndurchmesser bzw. die Dicken der einzelnen Schichten werden dabei entsprechend dem Diffusionsgesetz eine Funktion der entsprechenden Diffusionsgeschwindigkeit sein.

Betrachtet man zuerst nur die Wahrscheinlichkeit, dass die Quarzkörner trotz Andauer der Reaktion unter Verdickung der Alkali-Aluminiumsilikatschicht erhalten bleiben, so zeigt es sich, dass die Geschwindigkeitskonstante bei einer Verdickung der Silikatschicht auf z. B. 1 km, der hier in Frage kommenden Grössenordnung, mehr als 10^{11} mal so gross sein muss, wie diejenige der Umsetzung der Quarzkörner durch das Alkali, wenn die ursprünglich 1 cm grossen Quarzkörner in der Nähe des Kontaktes in der gleichen Zeit nur auf den halben Durchmesser abgenommen haben sollen. Selbst in diesem Fall wird das Reaktionsprodukt aber nicht Granit sein, sondern ein Gestein, das mit zunehmender Tiefe an Alkalisilikat dauernd reicher wird.

Betrachtet man die Geschwindigkeit des Angriffes von Alkali auf Quarz als unendlich klein, dann könnte man, entsprechend der Stabilität einer begrenzten Anzahl von Alkali-Aluminiumsilikaten, die Ausbildung ziemlich scharf begrenzter Schichten einheitlicher Zusammensetzung in den verschiedenen Tiefen erwarten.¹ In der obersten, alkalärmsten Schicht kann dann neben dem Quarz Orthoklas, in der nächst tieferen Schicht Leucit plus Kaliumsilikat und in der tiefsten endlich Kaliophilit plus Kaliumsilikat auftreten. Bei vergleichbaren Diffusionsgeschwindigkeiten werden die Dicken dieser Schichten annähernd gleich gross sein.

Bei diesen Überlegungen wurde gleiche Temperatur in dem ganzen System vor-

bei einer Diffusion von Materie aus der Intrusion in das Sediment eine Einbettung des markierenden Minerals in die Reaktionsschicht vorausgesehen werden kann.

¹ Abgesehen von einem geringen Konzentrationsgefälle, welches die Voraussetzung für die Diffusion ist.

ausgesetzt. Bei einer Anpassung der Verhältnisse and die in der Natur wird ausserdem zu berücksichtigen sein, dass vom Kontakt mit der Alkaliquelle nach aussen ein Temperaturabfall herrschen muss, demzufolge der Schichtdickenzuwachs in den oberen, d. h. kälteren Schichten gegenüber dem Zuwachs der tieferliegenden Schichten, bzw. der Umsetzung der Quarzkörner, merklich benachteiligt wird. Ein Temperaturabfall vom Kontakt — der eine Temperatur von weniger als 800° C haben muss, damit keine Schmelzung in der alkalisilikathältigen Schicht auftritt — zur oberen Grenze der umgewandelten Schicht um nur einige hundert Grad, würde das oben genannte Verhältnis der umgesetzten Schichten von 1:10¹¹ noch um mehrere Grössenordnungen vergrössern, da die Diffusionsgeschwindigkeit mit der Temperatur logarithmisch abnimmt. Das gleiche gilt für die Dicken der verschiedenen, oben genannten Diffusionsschichten.

Eine Entscheidung darüber, ob das oben skizzierte oder ein ähnliches System zur Bildung von Granit unter Diffusion von Alkali in *festen Phasen* grösserer Mächtigkeit führen kann, setzt nach obengesagtem die Kenntnis der entsprechenden Diffusionsgeschwindigkeiten voraus. Bei Kenntnis dieser Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Temperatur kann möglicherweise die Dicke einer derartigen festen Diffusionsschicht abgeschätzt d. h. eine Auffassung darüber gewonnen werden in welcher Tiefe mit (partieller) Schmelzung und entsprechender Mobilisierung fluider Phasen gerechnet werden muss, damit ein merkbarer Fortschritt der Reaktionen in fester Phase unter den gegebenen Bedingungen (Temperatur, Diffusionsdauer) möglich ist.

Als grundlegend wird daher vorerst die Kinetik der Umsetzungen im System Na₂O-Al₂O₃-SiO₂ zu untersuchen sein.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bedeutung der Diffusionen in festen Phasen für die Bildung der Gesteine ist in geologischen Kreisen sehr umstritten. Es wird daher auf die Notwendigkeit einer Untersuchung dieser Frage durch den Chemiker hingewiesen. Nach einem Referat der gegensätzlichen geologischen Auffassungen wird betont, dass an die Spitze jeder Diskussion dieser umstrittenen Bedeutung eine Definition der Diffusion in festen Phasen gestellt werden muss. Es wird zu der Arbeit BUGGES Stellung genommen und darauf hingewiesen, dass eine Experimentaluntersuchung des Systems Na₂O-Al₂O₃-SiO₂ notwendig sei. Bei Kenntnis der Diffusionsgeschwindigkeit in diesem System dürfte es möglich sein die in geologischen Zeiten durch Diffusion in festen Phasen maximal möglichen Schichtdicken abzuschätzen.

Den Herren P. NIGGLI, E. BRANDENBERGER (Zürich), F. MACHATSCHKI (Wien), R. BARTA, J. KASPAR (Praha), T. WOJNO (Warszawa), J. A. W. BUGGE (Oslo) und H. G. BACKLUND (Uppsala), die ich in genannter Folge besuchen durfte, bin ich für anregende Diskussionen zu Dank verpflichtet.

Die Durchführung dieser Arbeit wurde durch Mittel aus WILHELM OCH MARTINA LUNDGREN'S VETENSKAPSFOND ermöglicht.

Tryckt den 5 augusti 1949

Uppsala 1949. Almqvist & Wiksells Boktryckeri AB

Geologische Diffusionen in kristallisierten Phasen

Mitteilung 2: Über die Bildung und Dicke kristallisierter Diffusions- schichten im System $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

Von ROBERT JAGITSCH

In einer früheren Mitteilung wurde darauf hingewiesen, dass eine Auseinandersetzung mit der Frage der Bedeutung von Diffusionsvorgängen in festen Stoffen bei der Gesteinbildung notwendig geworden sei. Dieses Problem wurde besonders dadurch aktualisiert, dass vor kurzem von BUGGE¹ die Möglichkeit einer Diffusion in festen Phasen auch bei sehr grossen Schichtdicken zur Diskussion gestellt wurde („long distant diffusion“). Um zu einer Auffassung darüber zu gelangen, welche Schichtdicken durch Umsetzung in festen Stoffen unter geologischen Zeiten — etwa bis zu 10^8 Jahren — maximal gebildet werden können, wurde daher die bisher nicht untersuchte Kinetik der Umsetzung im System $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ in Abhängigkeit von der Versuchsdauer und Reaktionstemperatur studiert. Die Wahl fiel auf dieses System, weil einerseits die Umsetzung von Aluminiumsilikaten, wie Kaolin, mit Alkalioxyd als Modell der Transformation von tonigen Sedimenten am nächsten kommt, und andererseits in festen Diffusionssystemen mit Alkali als wandernde Komponente mit relativ grossen Diffusionsgeschwindigkeiten gerechnet werden konnte. Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass die Diffusionsgeschwindigkeit in festen Phasen offenbar u. a. abhängig ist von der Wertigkeit der diffundierenden Stoffe. So wurde beispielsweise festgestellt, dass bei der Silikatbildung im System $\text{PbO}-\text{SiO}_2$ ² und der Spinellbildung im System $\text{ZnO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ ³ der Materietransport praktisch ausschliesslich durch eine Wanderung der Oxyde des zweiwertigen Zinks, respektive Bleis besorgt wird, während Aluminiumoxyd beziehungsweise SiO_2 unbeweglich sind. Weitere Beispiele sind die von KOCH und WAGNER untersuchte Bildung von Ag_2HgJ_4 ⁴, die Mullitbildung bei der Erhitzung von Ton, welche trotz innigster Mischung der Komponenten Al_2O_3 und SiO_2 erst bei sehr hohen Temperaturen erfolgt, und zahlreiche Erfahrungen über die Diffusion von Alkali-, Silber- oder Kupferionen in Glas.⁵ Vorversuche mit Na_2CO_3 und Kaolin als Reaktionspartner zeigten auch bald, dass die Diffusionsgeschwindigkeiten in dem gewählten System relativ gross sind und nur in besonders günstigen Ausnahmefällen übertroffen werden dürften.⁶

¹ J. A. W. BUGGE, Avhandl. Norske Vid.-Akad., Oslo, Mat.-Naturv. Kl. 1945, Nr. 13.

² R. JAGITSCH u. B. BENGTON, Arkiv Kemi, Min. Geol. (Stockholm), 22 A, (1946), Nr. 6.

³ B. BENGTON u. R. JAGITSCH, Arkiv Kemi, Min. Geol. (Stockholm) 24 A (1947), Nr. 18.

⁴ E. KOCH u. C. WAGNER, Z. phys. Chem. (B) 34 (1936), 317.

⁵ Vgl. die Zusammenstellung bei W. EITEL, Physikal. Chemie der Silikate, Lpzg. 1941.

⁶ Z. B. bei den Anlaufreaktionen.

Als Grundlage zur Behandlung der Frage der unter geologischen Zeiten in festen Diffusionsphasen maximal möglichen Schichtdicken wurden die Umsetzungen von Natriumkarbonat mit folgenden Reaktionspartnern untersucht: Metakaolin, Sillimanit, Nephelin und Albit.

Methodik

Die Versuchsmethodik wurde in früheren Mitteilungen ausführlich beschrieben und geht aus auf eine qualitative Bestimmung der Reaktionsprodukte nach der Debye-Scherrermethode und eine quantitative Bestimmung der umgesetzten Mengen durch Wägung der Gewichtszunahme der Silikatpastillen zufolge der Eindiffusion von Na_2O aus der Sodapastille. Die Pastillenreaktionen wurden bei konstanten Temperaturen unter längerer Versuchsdauer durchgeführt. Als höchste Reaktionstemperatur wurde 750°C gewählt, welche Temperatur genügend tief unter der tiefsten eutektischen Temperatur liegt, um Schmelzen auszuschliessen; unterhalb 700° ist die Umsetzungsgeschwindigkeit zu gering um unter den gewählten Bedingungen — Diffusionsquerschnitt 1 cm^2 — noch Umsätze feststellen zu können. Als Reaktionspartner kamen folgende Stoffe zur Anwendung:

Metakaolin, erhalten durch Erhitzen von Kaolinit, McNamee Mine, South Carolina, auf 1080°C .

$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5,6\text{SiO}_2$, hergestellt aus Montmorillonit durch Behandlung eines Präparates von entsprechendem Wassergehalt mit SiCl_4 nach

$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{SiCl}_4 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2 + 8\text{HCl}$, und darauffolgende Erhitzung auf 1000°C . Durch Herstellung dieses Präparats sollten für die Albitbildung im festen Zustand durch Umsetzung mit Natriumkarbonat so günstige Voraussetzungen als möglich geschaffen werden: das bei der Umsetzung mit Natriumkarbonat eindiffundierende Na_2O sollte die beiden anderen Komponenten Al_2O_3 und SiO_2 nicht nur in einem der Albitzusammensetzung möglichst entsprechenden stöchiometrischen Verhältnis sondern auch in so intimer Mischung als möglich antreffen.

Sillimanit, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, von Custer, Dakota. Ausgewählte Kristalle wurden zur Pastillenreaktion mit Na_2CO_3 -Pastillen plan geschliffen und auf 800° vorerhitzt.

$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ wurde durch Pulverreaktion in Gemischen äquivalenter Teile Natriumkarbonat und Kaolinit hergestellt. Nach Erhitzung der Mischung auf Temperaturen zwischen 600 und 700° konnten im Debyeogramm keine Natriumkarbonatlinien mehr nachgewiesen werden: das Reaktionsprodukt war ein Natriumaluminumsilikat mit charakteristischem Diagramm und etwas niedrigerem Brechungsindex ($n = 1,51$) als bei Nephelin. Bei Erhöhung der Temperatur auf 1000° wurde dagegen ein Präparat erhalten dessen Brechungsindex ($n = 1,54$) und Debyeogramm mit denen von natürlichem Nephelin (Eläolith, Barkevig, Norwegen) übereinstimmte. Bei Erhitzung des Präparats auf noch höhere Temperatur (1360°C) wurden nach Abkühlung auf Zimmertemperatur wieder die zuerst festgestellte Röntgenstruktur und Brechungsindex beobachtet. Bei langsamer Abkühlung unter längerer Erhitzung auf 1000° wurde hingegen wieder Nephelin erhalten.

Bei Umsetzung in Pulvergemischen von wasserfreier Soda und Kaolin wurde danach bei 700° durch Umsetzung im festen Zustand in Übereinstimmung mit der OSTWALDSchen Stufenregel die instabile Carnegieitmodifikation des $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$.

· 2 SiO₂ erhalten. Bei höherer Temperatur geht diese monotrop in den stabilen Nephelin über, der sich bei 1250° enantiotrop in Carnegieit umwandelt.¹

Albit, Na₂O · Al₂O₃ · 6 SiO₂, von Runmarö, wurde pulverisiert, zu Pastillen gepresst und diese durch Erhitzung nahe dem Schmelzpunkt hart gesintert.

Umsetzung von Soda mit Albit

Die Umsetzung zwischen Soda- und Albitpastillen wurde bei 690 und 720° durchgeführt. Als Reaktionsprodukt konnte im Debyeogramm nur Natriummetasilikat beobachtet werden, da dieses mengenmässig über eventuelle andere Reaktionsprodukte wie Natriumaluminat oder Natriumaluminiumsilikate mit geringerem SiO₂-gehalt stark überwiegt. Die Umsetzung äusserte sich quantitativ in einer Gewichtsverminderung der Sodapastille und einer Gewichtszunahme der Albitpastille. Markierung der Albitkontaktfläche mit Platinschwarz² zeigte eine Eindiffusion von Na₂O in das Silikat an. Der Gewichtsverlust der Natriumkarbonatpastille war bei allen Temperaturen grösser als die entsprechende Gewichtszunahme der Albitpastille, da das Karbonat bei den Reaktionstemperaturen bereits merklich verdampft. Die Umsetzungsbeträge gehen aus der folgenden Tabelle I hervor.

Tabelle I.

Temperatur in °C	Zeit in Stunden	Gewichtsänderung Δm in Gramm		Δm^2 (Albitpastille)	Röntgen
		Sodapastille	Albitpastille		
700	2,0	-0,00045	+0,00020	0,4 · 10 ⁻⁷	Natriummetasilikat
	4,0	-0,00081	+0,00038	1,44 »	
	6,0	-0,00123	+0,00049	2,41 »	
	8,4	-0,00220	+0,00066	4,36 »	
	11,7	-0,00220	+0,00081	6,58 »	
720	2,0	-0,00071	+0,00034	1,16 · 10 ⁻⁷	Natriummetasilikat
	3,0	-0,00150	+0,00070	4,9 »	
	8,1	-0,00206	+0,00093	8,67 »	
	10,8	-0,00250	+0,00108	11,7 »	
	14,0	-0,00291	+0,00131	17,1 »	
	16,8	-0,00324	+0,00143	20,5 »	
	18,9	-0,00345	+0,00152	23,2 »	
	23,0	-0,00399	+0,00169	28,6 »	

Die Zeitfunktion der Umsetzung lässt sich befriedigend durch eine quadratische Beziehung

$$(\Delta m)^2 = k'' \cdot t$$

wiedergeben. In dieser Gleichung ist Δm die Gewichtsänderung der Pastille in Gramm, t die Versuchsdauer in Stunden und k'' eine temperaturabhängige Konstante von der Dimension g²cm⁻⁴h⁻¹.

¹ N. L. BOWEN, Amer. J. Sci. (4) 33 (1912), 193.

² Vgl. R. JAGITSCH, Nature 159 (1947), 166.

Umsetzung von Natriumkarbonat mit Sillimanit

Die Umsetzung von Soda mit Sillimanit im festen Zustand wurde in analoger Weise durchgeführt. Die quadratische Zeitfunktion wurde in längeren Versuchen bei 725 und 750° C festgelegt und im Anschluss in paralleler Versuchsführung mit zwei Pastillpaaren die Temperaturabhängigkeit der Diffusionsgeschwindigkeit bestimmt. Die Gewichtszunahmen der Sillimanitpastillen zufolge Eindiffusion von Na_2O im Verlaufe der Zeit und bei verschiedenen Temperaturen gehen aus der folgenden Tabelle II hervor; von einer Wiedergabe der Gewichtsverluste der Sodapastillen wurde Abstand genommen.

Tabelle II.

Temperatur in °C	Zeit in Stunden	$\Delta m/\text{cm}^2$	$(\Delta m/\text{cm}^2)^2$	Anmerkung
725	1,5	0,00058	$0,3 \cdot 10^{-6}$	
	2,5	0,00084	0,7 »	
	4,5	0,00118	1,4 »	
	6,5	0,00141	2,0 »	
	10,0	0,00172	3,0 »	
	13,0	0,00203	4,1 »	
750	1,0	0,00064	$0,4 \cdot 10^{-6}$	Resultat der Röntgenuntersuchung, vgl. Text
	1,5	0,00092	0,8 »	
	2,5	0,00149	2,2 »	
	5,0	0,00259	6,7 »	
	7,5	0,00321	10,3 »	
	9,0	0,00361	13,1 »	
750	1,5	0,00008 resp. 0,00063	0,06 resp. $0,40 \cdot 10^{-6}$	Parallelversuche mit je zwei Pastillenpaaren bei verschiedenen, konstanten Temperaturen
	3,5	0,00078 » 0,00120	0,6 » 1,4 »	
705	9,5	0,00120 resp. 0,00157	1,4 resp. $2,5 \cdot 10^{-6}$	
	15,5	0,00158 » 0,00192	2,5 » 3,7 »	
725	18,0	0,00183 resp. 0,00223	3,4 resp. $5,0 \cdot 10^{-6}$	
	21,0	0,00215 » 0,00253	4,6 » 6,4 »	
	23,0	0,00234 » 0,00266	5,5 » 7,1 »	
745	24,0	0,00248 resp. 0,00287	6,2 resp. $8,3 \cdot 10^{-6}$	
	25,5	0,00278 » 0,00313	7,7 » 9,8 »	
	27,0	0,00300 » 0,00340	9,9 » 11,6 »	

Aus den im Verlaufe der Umsetzungen aufgenommenen Debyeogrammen war keine Andeutung einer Nephelin- oder Carnegieitbildung zu ersehen. Mit steigenden Mengen in den Sillimanit eindiffundierten Natriumoxydes tritt eine Schwächung bzw. Auslöschung einiger Interferenzen ein, während neue Linien auftreten: so wurde nach einer Gewichtszunahme der Sillimanitkristalle von 2,03 mg bei 725° eine starke Intensitätsabnahme von $\sin^2 \alpha = 0,123$ und vollkommene Auslöschung von 0,094 und 0,100 beobachtet, während bei 0,089 eine neue, sehr starke Inter-

ferenzlinie auftrat. Bei längerer Versuchsdauer und entsprechend grösseren Mengen eindiffundierten Natriumoxyds (3,6 mg) trat noch eine weitere, etwas schwächere Linie bei $\sin^2 \alpha = 0,093$ auf. Die beiden neuen Linien können auf die Bildung von Natriumaluminat zurückgeführt werden.

Die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit lässt sich in dem untersuchten Temperaturintervall durch die Beziehung

$$k'' \sim 2 \cdot 10^{13} \cdot e^{-90000/RT}$$

wiedergeben, wobei R die Gaskonstante und T die absolute Temperatur darstellen.

Umsetzung von Na_2CO_3 mit Nephelin

Die Umsetzung zwischen Soda- und Nephelinpastille wurde unter längerer Zeit bei 750°C durchgeführt. Die Gewichtszunahme der Nephelinpastille im Verlaufe der Erhitzung geht aus Tabelle III hervor.

Tabelle III.

Zeit in Stunden	$\Delta m/\text{cm}^2$	$(\Delta m/\text{cm}^2)^2$
1,5	0,00047	$0,2 \cdot 10^{-6}$
3,5	0,00072	0,5 »
5,5	0,00106	1,1 »
9,0	0,00141	2,0 »
12,5	0,00163	2,7 »
19,5	0,00213	4,6 »

Umsetzung von Na_2CO_3 mit Metakaolin

Während bei den oben referierten Umsetzungen mit kompakten Pastillen gearbeitet werden konnte, lagen die Metakaolinpastillen trotz dem Pressdruck von etwa 1000 kg/cm^2 und trotz nachfolgender Vorerhitzung auf 1080° in poröser Form vor, da in diesen keine genügend starke Rekristallisation stattfindet, welche die einzelnen Körner zu einer kompakten, einheitlichen Pastille umformen könnte. Die Folge davon war, dass die Reaktionsschicht infolge des Dichteunterschiedes zwischen Metakaolin und Reaktionsprodukt schon bei geringer Dicke Sprünge aufwies und meist früher oder später eine Abweichung vom quadratischen Verlauf der Gewichtszunahme festgestellt werden musste: offenbar begünstigt das Auftreten von Sprüngen in der Diffusionsschicht die Eindiffusion von Na_2O und die pro Zeiteinheit umgesetzte Menge Alkalioxyd nimmt daher nicht so rasch ab als bei Diffusion durch die kompakte Reaktionsschicht. Da ein Verfahren zur Erzeugung reproduzierbarer, kompakter Metakaolinpastillen nicht ausgearbeitet werden konnte, wurde so vorgegangen, dass die Pastillenumsetzung zwischen Soda und Metakaolin im Temperaturintervall von 695 bis 750° an einer grösseren Anzahl Pastillenpaaren bis zur Abweichung von der quadratischen Zeitfunktion durchgeführt und der Versuch daraufhin abgebrochen wurde. Trotz dieser Vorsichtsmassnahme weisen die

in Tabelle IV zusammengestellten Diffusionskonstanten k'' beachtliche Abweichungen auf; die für eine Berechnung der Temperaturabhängigkeit der Diffusionsgeschwindigkeit ungünstig grosse Fehlergrenze wurde versucht durch eine grosse Anzahl von Umsetzungsbestimmungen zu kompensieren.

Tabelle IV.

Temp. °C	Temp. °K	$10^4/T$	k''	$\log k''$
695	968	10,33	$0,41 \cdot 10^{-6}$	-6,39
»	»	»	0,23 »	-6,64
705	978	10,22	0,20 »	-6,70
»	»	»	0,60 »	-6,22
»	»	»	0,35 »	-6,46
715	988	10,12	0,60 »	-6,22
725	998	10,02	1,42 »	-5,85
»	»	»	2,10 »	-5,68
730	1003	9,97	0,44 »	-6,36
735	1008	9,92	1,60 »	-5,80
»	»	»	1,48 »	-5,83
740	1013	9,87	1,60 »	-5,80
»	»	»	2,00 »	-5,70
745	1018	9,82	1,40 »	-5,85
750	1023	9,72	3,73 »	-5,43
»	»	»	5,00 »	-5,30

Umsetzung zwischen Natriumkarbonat und $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5,6 \text{SiO}_2$

Bei der Umsetzung eines Pulvergemisches von Soda und $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5,6 \text{SiO}_2$ im molaren Verhältnis 1:1 bei 720° C, konnten im Debyeogramm nur Nephelinlinien beobachtet werden. Auch bei 800° wurde Nephelinbildung festgestellt. Trotz der günstigen Mischungsverhältnisse ist danach bei Umsetzung im festen Zustand Albitbildung nicht zu erzielen. Obwohl der SiO_2 -Gehalt des Systems nicht ganz dem von Albit entsprach — 5,6 statt 6 Molekeln —, war er doch genügend gross, sodass falls Albitbildung unter den angewendeten Versuchsbedingungen durch Umsetzung in fester Phase möglich wäre, die Albitlinien im Röntgenogramm hätten vorherrschen müssen. Die Bruttozusammensetzung $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5,6 \text{SiO}_2$ entspricht einem Gehalt von etwa 90 % Albit und 10 % Nephelin; selbst bei Ausbildung eines Mischkristalls von Nephelin mit 30 % Albit wäre der Überschuss von SiO_2 über den SiO_2 -Gehalt eines derartigen Mischkristalls so gross, dass im Falle einer Albitbildung diese nicht hätte übersehen werden können. Die Bildung von Albit in diesem Reaktionssystem konnte auch nicht durch Erhitzung in einem mit Wasserdampf beladenen Luftstrom erzielt werden: bei Erhitzung in einem Luftstrom mit 100 mm Wasserdampf wurde bei 720° C nach drei Stunden die Bildung von Nephelin festgestellt. Bei fortgesetzter Erhitzung unter weiteren 7, respektive 14 Stunden werden die Linien im Debyeogramm so schwach, dass die Struktur des noch kristallisierten Anteils der Probe nicht mehr erkannt werden konnte — die zusammengesinterte Masse ist überwiegend glasig.

Unter den angewendeten Bedingungen wird durch Umsetzung im festen Zustand danach kein Albit gebildet obwohl die Reaktionsverhältnisse bei der intimen Mi-

schung von Al_2O_3 und SiO_2 in entsprechender Proportion als überaus günstig bezeichnet werden muss; für die Bildung von Albit hätte es nach erfolgter Eindiffusion des Na_2O bloss einer Ordnung des gebildeten Natriumaluminiumsilikats zum Albitgitter bedurft. Offenbar ist die Trägheit mit welcher dieser Ordnungsprozess verläuft so gross, dass statt dessen eine Mischung von Nephelin und amorpher Substanz erhalten wird.

Die Geschwindigkeit der Umsetzung zwischen Na_2CO_3 und $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5,6 \text{SiO}_2$, welchen Pastillenpaaren bei den konstanten Temperaturen 720, 750 und 760°C bestimmt wurde, ist von der gleichen Grössenordnung wie im System Na_2CO_3 -Metakaolin. Die Geschwindigkeitskonstanten k'' gehen aus der Tabelle V hervor.

Tabelle V.

Temperatur in °C	k'' in $\text{g}^2 \text{cm}^{-4} \text{h}^{-1}$
720	$4,5 \cdot 10^{-7}$
750	8,8 »
760	15,4 »

Über die maximale Dicke kristalliner Diffusionsschichten bei Umsetzungen unter geologischen Zeiten

Die oben festgestellten Diffusionsgeschwindigkeiten dürften nur in Ausnahmefällen¹ übertroffen werden; in den meisten kristallisierten Phasen werden vielmehr beachtlich kleinere Umsetzungsgeschwindigkeiten festgestellt. Als Beispiel dafür sei bloss auf die Bildung von Aluminiumsilikat bei der Erhitzung von Kaolin hingewiesen, in welchem trotz innigster Mischung von Al_2O_3 und SiO_2 die Bildung von Mullit erst bei sehr hohen Temperaturen festzustellen ist. Die hier untersuchten Systeme, vor allem Na_2O -Metakaolin dürften daher eine verlässliche Auffassung dafür vermitteln, welche Schichtdicken bei Umsetzungen in kristallisierten Phasen unter geologischen Zeiten maximal ausgebildet werden können. Alle bei der Gesteinsbildung möglichen Umsetzungen in festen Phasen müssen danach zu geringeren Schichtdicke führen als die hier berechneten Werte.

Die Temperaturabhängigkeit der Diffusionsgeschwindigkeit von Na_2O bei der Umsetzung von Soda mit Metakaolin kann durch die Beziehung

$$k'' \sim 8 \cdot 10^{14} \cdot e^{-95000/RT}$$

wiedergegeben werden. Die Schichtdicke x des durch die Umsetzung gebildeten Reaktionsproduktes kann aus den experimentell bestimmten Konstanten k'' durch Umformung in eine Konstante k' von der Dimension $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$ berechnet werden. Die pro cm^2 eindiffundierte Na_2O -Menge $\mathcal{A}m$ ist gleich

$$\mathcal{A}m/\text{cm}^2 = \varrho \cdot x \cdot \frac{M_{\text{Na}_2\text{O}}}{M_{\text{Carneg}}},$$

¹ Z. B. bei Anlaufreaktionen von Metallen.

wobei ϱ das speziphische Gewicht und x die Schichtdicke des Reaktionsproduktes, $M_{\text{Na}_2\text{O}}$ das Molekelgewicht von Na_2O und M_{Carneg} das Molekelgewicht des Reaktionsproduktes ist. Daraus folgt

$$(\Delta m / \text{cm}^2)^2 = k'' \cdot t = \varrho^2 \cdot x^2 \cdot \left(\frac{M_{\text{Na}_2\text{O}}}{M_{\text{Carneg}}} \right)^2,$$

und nachdem

$$x^2 = k' \cdot t$$

erhält man

$$k' = k'' \cdot \left(\frac{M_{\text{Carneg}}}{M_{\text{Na}_2\text{O}}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\varrho^2}$$

beziehungsweise mit $\varrho \sim 2,5$

$$k' = k'' \cdot 3,35.$$

Die Schichtdicke des bei der Umsetzung gebildeten Natriumaluminiumsilikates bei verschiedenen Temperaturen und in Abhängigkeit von der Umsetzungsdauer kann damit berechnet werden aus der Beziehung

$$k' = 2,7 \cdot 10^{15} \cdot e^{-95000/RT} = x^2 \cdot \frac{1}{t} \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}.$$

Die auf diese Weise berechneten Schichtdicken sind natürlicherweise nur eine grobe Näherung, da die Fehlergrenze für das Temperaturinkrement ($95 \pm 10 \text{ Kcal}$) sehr gross ist und bei der Pastillenumsetzung nur mit der Bildung von Carnegit gerechnet wurde. Tatsächlich wird jedoch der so gebildete Carnegit durch weitere Zufuhr von NaO_2 wieder zerstört, welche Tatsache weder beim Einsetzen des speziphischen Gewichts noch des Molekelgewichts des Reaktionsproduktes berücksichtigt wurde.

Das Resultat dieser Approximation bei einer geologischen Reaktionsdauer von 10^8 Jahren und den Temperaturen 700, 600 bzw. 500°C geht aus der folgenden Tabelle VI hervor:

Tabelle VI.

Temperatur in $^\circ \text{C}$	Schichtdicke nach 10^8 Jahren
700	1000 cm
600	60 »
500	1,8 »

Die Diffusionsgeschwindigkeit in festen Phasen ist nach diesem Ergebnis so gering, dass selbst unter den günstigsten Verhältnissen — Diffusion von sehr beweglichem Alkali, hohe Temperatur, äusserst lange Reaktionsdauer — die umgesetzte Schicht eine maximale Dicke von einigen Metern erreichen kann. Bei niedrigeren Temperaturen und bei anderen Systemen muss die durch Diffusion in fester Phase gebildete Reaktionsschicht beträchtlich kleiner sein.

Bei Bergmetamorphosen unter Materiezufuhr aus grösseren Entfernungen muss danach mit der Mitwirkung flüchtiger Phasen und einem Transport unter Konvektionsströmung gerechnet werden. Dieses Resultat schliesst natürlich keineswegs die Möglichkeit einer Umwandlung mächtiger Sedimentlager unter Umsetzung in überwiegend festen Phasen aus; vorausgesetzt jedoch, dass entweder die Reaktionspartner schon vor Beginn der orogenen Prozesse in entsprechend intimer Mischung vorliegen oder die Zufuhr von Reaktionskomponenten aus grösserem Abstand unter Mitwirkung flüchtiger Phasen erfolgt. Die eventuelle Mitwirkung gasförmiger Stoffe bei der Umsetzung von Kristallen schliesst nach den Erfahrungen an u. a. den sogenannten Anlaufreaktionen keineswegs die Möglichkeit aus, dass für die Bildung der Reaktionsprodukte Diffusionsvorgänge innerhalb der festen Phase geschwindigkeitsbestimmend sein können. Ob und in welchem Ausmass derartige Prozesse bei den Metamorphosen eine Rolle spielen, wird von Fall zu Fall zu entscheiden sein.

Zusammenfassung

Die Umsetzungen im festen Zustand zwischen Natriumkarbonat und einer Reihe von Aluminiumsilikaten, wie Albit, Nephelin, Sillimanit, Kaolin, wurden röntgenographisch auf die gebildeten Reaktionsprodukte untersucht. Die Geschwindigkeit der Prozesse in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur wurde bestimmt. Die Reaktionsgeschwindigkeit im System $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ist bestimmt durch die Geschwindigkeit der Eindiffusion von Alkali in das Reaktionsprodukt.

Aus der experimentell bestimmten Diffusionsgeschwindigkeit bei der Carnegieitbildung wurde der Schluss gezogen, dass durch Umsetzung zwischen festen Stoffen gebildete Diffusionsschichten selbst in geologischen Zeiträumen unter den günstigsten Bedingungen nur die Dicke von der Grössenordnung einiger Meter erreichen können.

Geologische Reaktionen unter Materietransport ausschliesslich unter Diffusion in kristallisierten Phasen können daher nur in Gesteinen oder Sedimenten erwartet werden in welchen die Reaktionskomponenten in entsprechend intimer Mischung vorliegen, respektive eine Umsetzung im festen Zustand auf einen Herantransport von Reaktionskomponenten aus grösserer Entfernung unter Mitwirkung fluider Phasen, d. h. unter Konvektion erfolgt. Dass eine Mitwirkung gasförmiger Phasen bei Umsetzung von Kristallen eine für die Geschwindigkeit der Reaktionen entscheidende Mitwirkung von Diffusionsvorgängen nicht auszuschliessen braucht, wurde unterstrichen.

STATENS NATURVETENSKAPLIGA FORSKNINGSRÅD danke ich für die materielle Unterstützung dieser Arbeit, Fr. ING-BRITT ENGMAN und Herrn LARS STRID für Ihre Hilfe bei der Durchführung der Versuche.

Herrn Professor J. A. HEDVALL möchte ich auch an dieser Stelle für sein Interesse an der vorliegenden Arbeit meinen Dank aussprechen.

Tryckt den 27 juni 1949

Uppsala 1949. Almqvist & Wiksells Boktryckeri AB

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
The following is a list of the names of the members of the
Committee on the History of the University of Chicago, who
have been elected to the office of Secretary of the
Committee for the year 1900-1901. The names are
given in alphabetical order of their surnames.
The names of the members of the Committee are
given in alphabetical order of their surnames.
The names of the members of the Committee are
given in alphabetical order of their surnames.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
The following is a list of the names of the members of the
Committee on the History of the University of Chicago, who
have been elected to the office of Secretary of the
Committee for the year 1900-1901. The names are
given in alphabetical order of their surnames.
The names of the members of the Committee are
given in alphabetical order of their surnames.
The names of the members of the Committee are
given in alphabetical order of their surnames.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
The following is a list of the names of the members of the
Committee on the History of the University of Chicago, who
have been elected to the office of Secretary of the
Committee for the year 1900-1901. The names are
given in alphabetical order of their surnames.
The names of the members of the Committee are
given in alphabetical order of their surnames.
The names of the members of the Committee are
given in alphabetical order of their surnames.

INNEHÅLL

	Sid.
1. REGNÉLL, G., On the Position of Palaeontology and Historical Geology in Sweden before 1800	1— 64
2. JAGITSCH, R., Geologische Diffusionen in kristallisierten Phasen. I	65— 84
3. —, Geologische Diffusionen in kristallisierten Phasen. II . .	85— 93

Arkiv för Mineralogi och Geologi utgives i tvångsfritt utkommande häften.
Sex dylika bilda ett band. — Pris för detta häfte Kr. 6:—.

Arkiv för Mineralogi och Geologi appears at irregular intervals. Six numbers
will form one volume. — The price of this number Sw. Crs. 6:—.

Utgivet den 16 januari 1950